
令和3年度 修士学位論文

持ち上げ速度を考慮した
パワーアシスト装置の操作における
心理評価に関する研究

指導教員 池浦 良淳 教授

三重大学大学院

工学研究科機械工学専攻

人間支援システム研究室

行方 優太

目次

目次.....	1
第1章 序論.....	3
1.1 研究背景.....	3
1.2 心理評価の先行研究.....	5
1.3 研究目的.....	7
第2章 実験装置.....	9
2.1 本章の概要.....	9
2.2 実験装置全体の構成.....	9
2.3 制御方法.....	13
第3章 実験内容.....	15
3.1 実験の概要.....	15
3.2 実験の手順.....	15
第4章 実験結果.....	17
4.1 本章の概要.....	17
4.2 それぞれの持ち上げ速度と質量変更による影響の平均値比較.....	18
4.3 有意差の検証.....	28
4.4 質量変更実験で取得した持ち上げ力と変位の時間微分の波形.....	30
4.5 考察.....	40
第5章 結論.....	42
5.1 まとめ.....	42
5.2 今後の課題.....	43

目次

参考文献.....	44
謝辞.....	46

第1章

序論

1.1 研究背景

近年、少子高齢によって若者の生産労働人口が不足している。本来、労働の根幹を担うはずの若者が減少しているということは、必然的に日本の全体の労働力も下がる。また、近年の女性や高齢者の働く割合が増加している。ここで労働と言っても、デスクワークや現場仕事など様々な労働形態が存在する。現場仕事では、工場、介護、物流、農業などがある。特に重い物を持ち上げるような現場仕事では、体に掛かる負担が大きい。そこで期待されるのが産業用パワーアシスト装置である。パワーアシスト装置を使うことで、体への負担を少なくし、女性や高齢者でも快適に重量物を運搬できることが期待できる。

パワーアシスト装置を使うということは、体の感覚とリンクしているため、操作性や安全性が重要である。人間は物体を持ち上げる時、まず視覚情報から物体の大きさ、色などを読み取り、生活上の記憶や経験から物体の質量を予測し、適切な力を加える。しかし、パワーアシスト装置を使って持ち上げる場合、自分の力とアシストされた力が合計され、予測していた質量と実際にパワーアシスト装置を使い持ち上げる質量に差ができる。この差が大きいと、物体を持ち上げる際の適切な力以上の過剰な力を加えてしまい、想定外の動きとなると、怪我や事故に繋がる恐れがある。特に介護の現場では人と人の関わりであるため、パワーアシストを使ったときに違和感がある場合、操作者だけでなく介護される側の人にも危機感や恐怖感が生じることになる。

本研究では、鉛直1次元方向の持ち上げ装置を用いた、疑似的な重量感覚の心理評価について調べる。具体的には、重い物を数回持ち上げた後に、軽い物体を持ち上げた際

の心情を10対20個の形容詞の質問を用いた3点満点のアンケートに答えてもらう。さらに、本実験では、持ち上げ速度を3種類用意し、変えることで、それらが心理評価にどのような影響を与えるかを調査する。

池浦ら、加藤らは、力情報を用いた可変インピーダンス制御法や、接触を考慮した粘性抵抗による可変インピーダンス制御法で目的のゲインに自由に設定することを目指した。また、山田らは、スキルアシスト制御法として、操作性向上を目的としたアシストモータ制御法を実現した。操作者の思い通りのゲインを設定することは、パワーアシスト装置において本質的な研究と言える。対して、本実験では、力センサと位置センサで波形を読み取るが、あくまで実験が正常に行われているかの副次的な意味合いである。そのため、心理評価をメインとし、被験者の心情を読み取る。

1.2 心理評価の先行研究

重量感覚というのは人間の感覚によるものであり、まだまだ明らかになっていないことが数多くある。例えば、シャルパンティエ錯覚では、同質量の物体が目の前にある時、物体が大きいほど軽く感じやすい。これは、密度に反応するためである。また、阿部らは、3種類の条件のコップの水を使い、重さと印象評価への関連を調べた。Flanagan and Belznerらは、被験者が重量変化実験に慣れて終盤違いが出にくくなることを報告した。このように、重量感覚というのは、単なる心情ではなく、五感を通して現れる現象だと言える。また、超短期的な記憶であり、時間や刺激と密接に関係している。田山らは、知覚と時間に注目し、視覚と聴覚や触覚などには順番があり、準備していない刺激にはより敏感になることを指摘した。一般的に、視覚よりも聴覚の方が時間を長く感じるとされている。これは、目に入るよりも音の方が速く伝わるからである。また、刺激の少ない時間や遅い動きを見ていると、長く感じられることに言及した。顔写真を用いた実験では、1秒間などの短い時間怒り顔見た時は、中性顔を見た時よりも時間が長く感じた。恐怖などの感情は扁桃体が関与するという。このように、恐怖感情が時間の長さに関連していることがわかる。

本研究では、同質量の物体を何回か持ち上げた後に質量を軽くすることで重量知覚を調べる。さらに、重量知覚が持ち上げ速度の種類によって影響されるのかも調べる。例えば、遅い持ち上げ速度では重量知覚は強くなるのか弱くなるのか、速い持ち上げ速度では重量知覚は強くなるのか弱くなるのかなどである。その時の心情を形容詞アンケートを使うことによって数値的に評価し、持ち上げ力と位置の時間微分波形を取って変化を調べる。

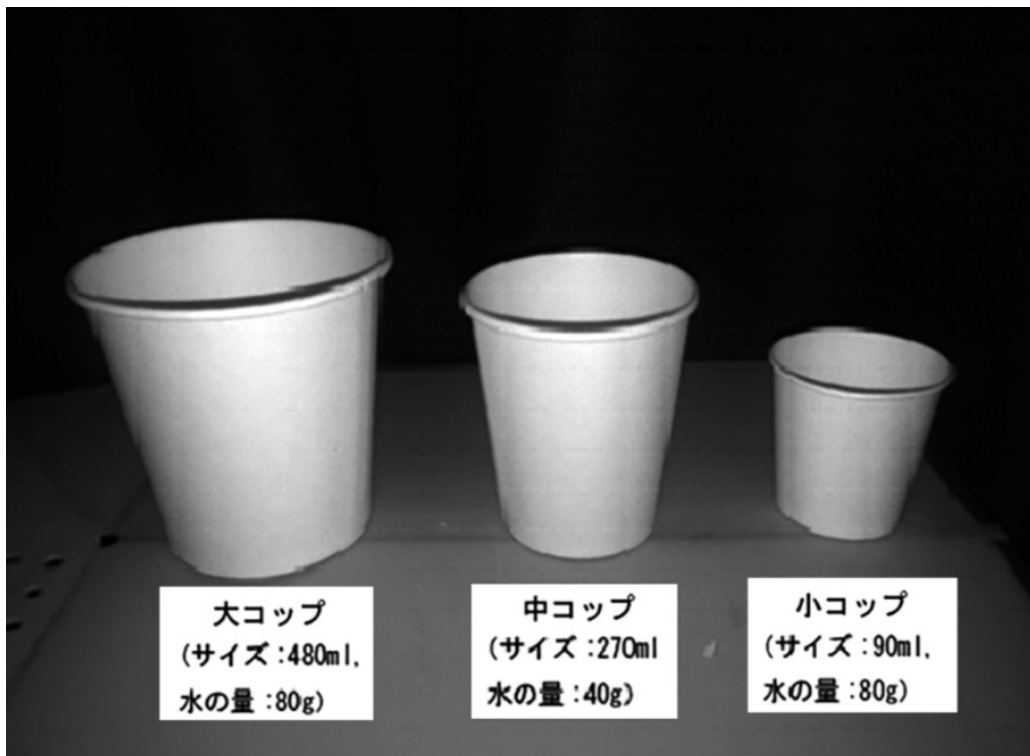


Fig. 1.1 Experiment with a glass of water

1.3 研究目的

本研究では、重い物体を何回か持ち上げた後に、被験者に知らせずに突然軽くするというもので、その時感じた心情を心理アンケートで評価する。金森らは操作性を問うアンケートで 50 個の形容詞を使った。今回の実験では、昨年行った主成分分析によってその中から似た成分の形容詞を省き、より効果的な 10 対 20 個の形容詞の質問を選択し用意した。形容詞を絞ることにより、実験時間の短縮や被験者への負担を低減することができる。また、感じた心情というのは、一瞬の感覚なので形容詞を用いることで、瞬間的に直感的に答えることができる。さらに、持ち上げ速度である固定 BPM を 30,60,90 の 3 種類に分けることで、それぞれの速度で持ち上げた時の心情を調べる。BPM とは、テンポの単位で一分間の拍数であり、一分間に心臓が鼓動する心拍数でもある。今回この 3 つの BPM を選んだ理由としては、心臓の鼓動がおよそ 60 であることから、昨年行った実験では常に BPM60 に設定していた。そのため、速さの違いがわかりやすく、速すぎて実験装置を壊さないように考慮したところ、30,60,90 が適切であると考えられた。心理アンケートの評価法としては、それぞれの形容詞ごとに平均値と標準偏差を出し、二要因分散分析で重さと持ち上げ速度について有意差を調べる。さらに BPM ごとに平均値を比較することで、相対的に評価できる。最後に、力センサと位置センサを繋いだオシロスコープから波形を読み取り、力の時間微分と位置の時間微分のグラフの幅から、物体に力を入れて机から離れてから持ち上げるピークまでの時間を調べる。

もし、物体の質量差を感じた時の被験者の心情を細かく分析できれば、産業用パワーアシスト装置の開発における心理的な安全を高めることができる。例えば、操作者が気をつけるべき点や修正点を客観的に見ることができ、開発精度の向上や細部の強弱の設定など、操作する人や操作される人に安全に配慮されたものを開発、使用することができるようになる。また、持ち上げ速度によっての影響結果を見ることで、操作者が作業しやすい適正な速度を推測できる可能性がある。

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| (1) 安心な-不安な | (2) 圧迫感のある-解放感のある |
| (3) 安全な-危険な | (4) 違和感のある-違和感のない |
| (5) 安定な-不安定な | (6) 意外性のある-意外性のない |
| (7) 飽きのこない-退屈な | (8) イライラする-イライラしない |
| (9) 荒削りな-洗練された | (10) 意思に沿った-意思に反した |
| (11) 一般的な-特殊な | (12) 動きのはやい-動きのおそい |
| (13) 重い-軽い | (14) 落ち着きのある-落ち着きのない |
| (15) 快適な-不快な | (16) 応答性のよい-応答性の悪い |
| (17) 硬い-軟らかい | (18) 押したような-押されたような |
| (19) 協力的な-非協力的な | (20) 活気のある-活気のない |
| (21) 機械的な-人間的な | (22) 偏りのある-偏りのない |
| (23) 慎重な-軽々しい | (24) 恐怖感のある-恐怖感のない |
| (25) 自由な-束縛された | (26) 主導権のある-主導権のない |
| (27) 自然な-不自然な | (28) 自動的な-自動的でない |
| (29) 十分な-不十分な | (30) 操作しやすい-操作しづらい |
| (31) 素直な-ひねくれた | (32) 弾力のある-弾力のない |
| (33) 優れた-劣った | (34) 手応えのある-手応えのない |
| (35) 好きな-嫌いな | (36) 止まりやすい-止まりにくい |
| (37) 積極的な-消極的な | (38) 粘り気のある-粘り気のない |
| (39) 繊細な-おおざっぱな | (40) 控え目な-でしゃばりな |
| (41) 楽しい-つまらない | (42) 疲労感のある-疲労感のない |
| (43) 力強い-か弱い | (44) 負担のある-負担のない |
| (45) 滑らかな-ぎこちない | (46) 丸みのある-丸みのない |
| (47) 敏感な-鈍感な | (48) 無理のある-無理のない |
| (49) 満足な-不満な | (50) 無駄のある-無駄のない |
| (51) 容易な-困難な | (52) 余裕のある-余裕のない |
| (53) タイミングの合う-タイミングの合わない | |
| (54) 長く続けられる-長く続けられない | |
| (55) フィットする-フィットしない | |
| (56) メリハリのある-メリハリのない | |

Fig. 1.2 Adjective question

第2章

実験装置

2.1 本章の概要

本実験では、被験者にアシストなしの物体 680[g]の質量を数回持ち上げた後に、そのまま 680[g]、または、制御により質量を変化させた 500,340[g]のどれかを持ち上げてもらう。

2.2 実験装置全体の構成

実験装置としては、オペアンプを用い入力電圧を増幅し、増幅された信号はアクチュエータの入力となる。ボイスコイルモータで入力電圧に比例した力を出力し増幅率を変えることで仮想的に質量を変えることができる。被験者にはわからないように、手元のスイッチで質量を変える。物体の上に取り付けられた力センサと下部の位置センサによってオシロスコープで波形を読み取る。具体的には、物体、力センサ、位置センサ、アンプ、制御回路(アナログ回路)、アクチュエータ(ボイスコイルモータ)、データ計測用のオシロスコープから構成される(Fig. 2.1)。また、実験に使うパラメータを Table 2.1 に、実験装置の外観を Fig. 2.2 に示す。

スイッチは3つあるが、軽くなる2つの方は平行に、重い方は直列に繋がっている。制御回路は反転増幅回路になっており、軽い方と重い方の正負は逆になっている。これらを同時に使うとボイスコイルモータが発熱しすぎるので、今回は3つのスイッチの内、軽い方の2つを使う。質量は、自重の 680[g]と、500,340[g]である。質量の設定は、制御回路とアンプで行った。制御回路には、固定抵抗と可変抵抗が取り付けられており、固定抵抗で大まかな抵抗値を定め、可変抵抗で微調整する。さらにアンプで入力する電流の大きさを決める。ボイスコイルモータの上には両側に丸磁石が取り付けられており、

これらを固定することで、スムーズに持ち上げ動作を行うことができる。

今回の実験では、アシスト力を大きくするため、抵抗を減らす必要があった。そのため固定抵抗をできるだけ小さくした。さらに、可変抵抗も小さくなるよう調整して回路全体に流れる電流を大きくした。この時、回路に流れる電流が大きすぎてショートしないように10[k Ω]のセメント抵抗を繋いだ。また、ボイスコイルモータと増幅アンプの下にはファンを取り付けて熱を帯びすぎないようにした。

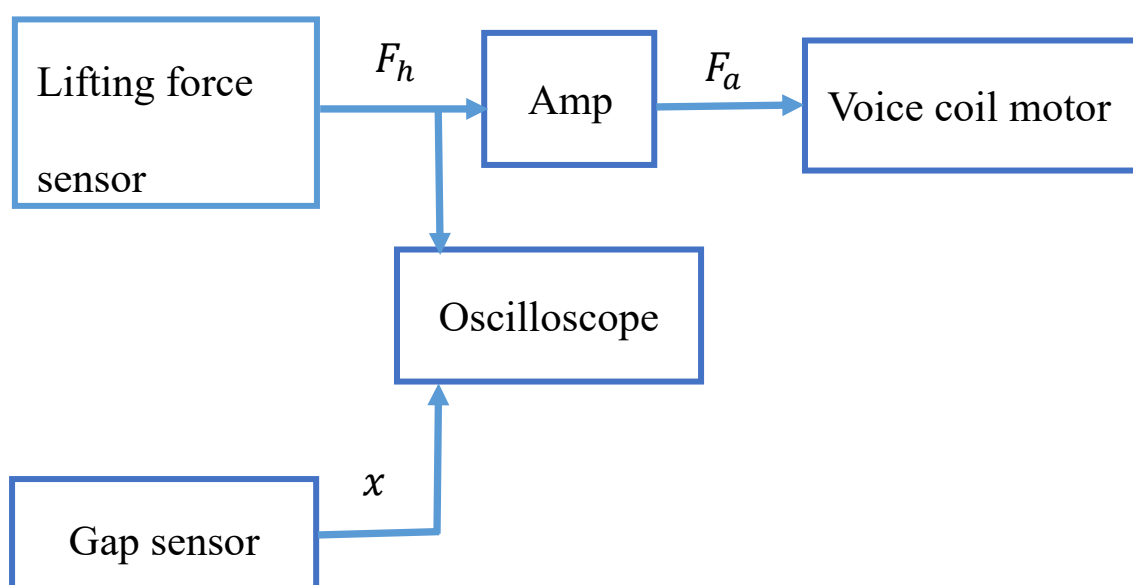


Fig. 2.1 Composition of the whole experiment apparatus

F_h	人の持ち上げ力[N]
F_a	Voice coil motor のアシスト力[N]
x	変位[m]

Table2.1 Parameters handled in the experiment

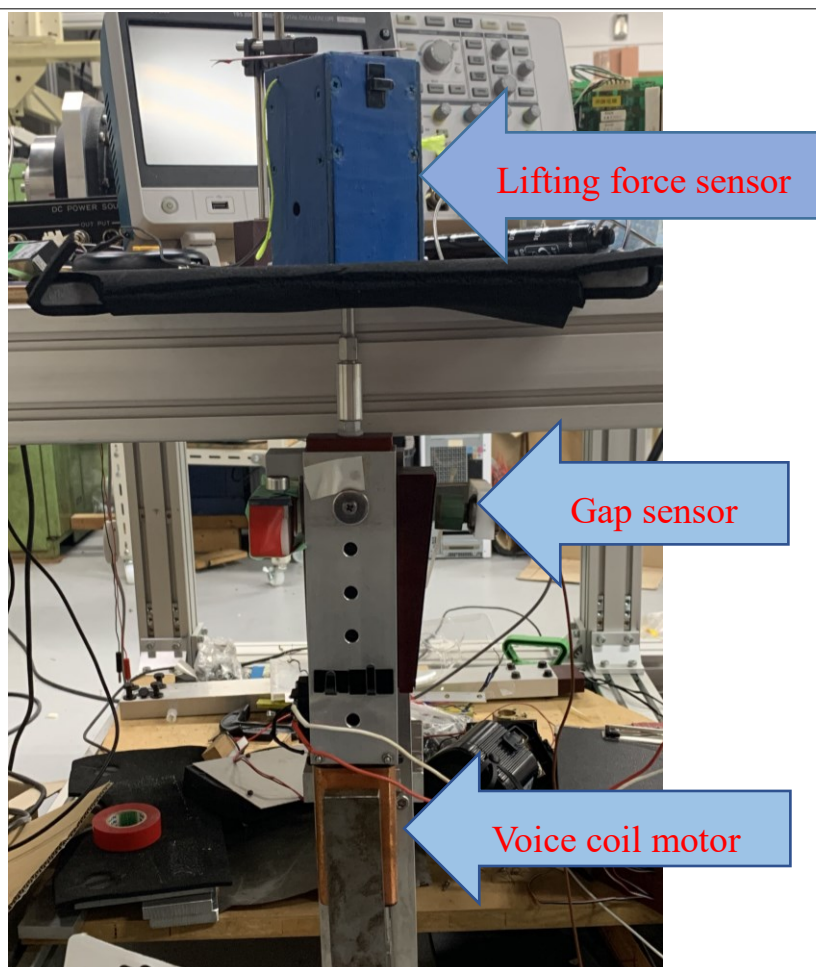


Fig. 2.2 Appearance of whole experiment equipment

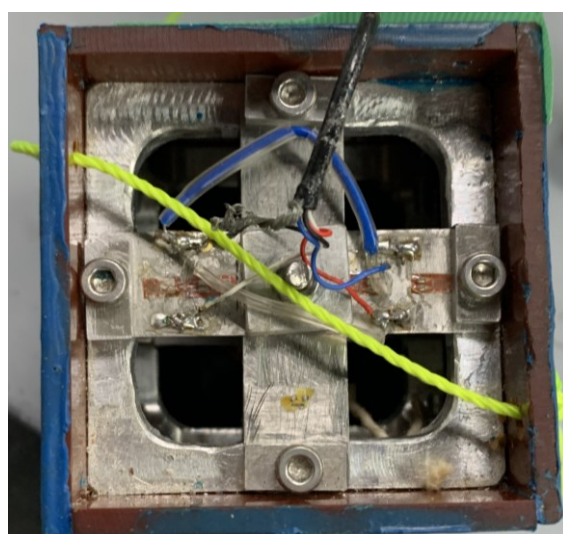


Fig. 2.3 Force sensor attached to an object

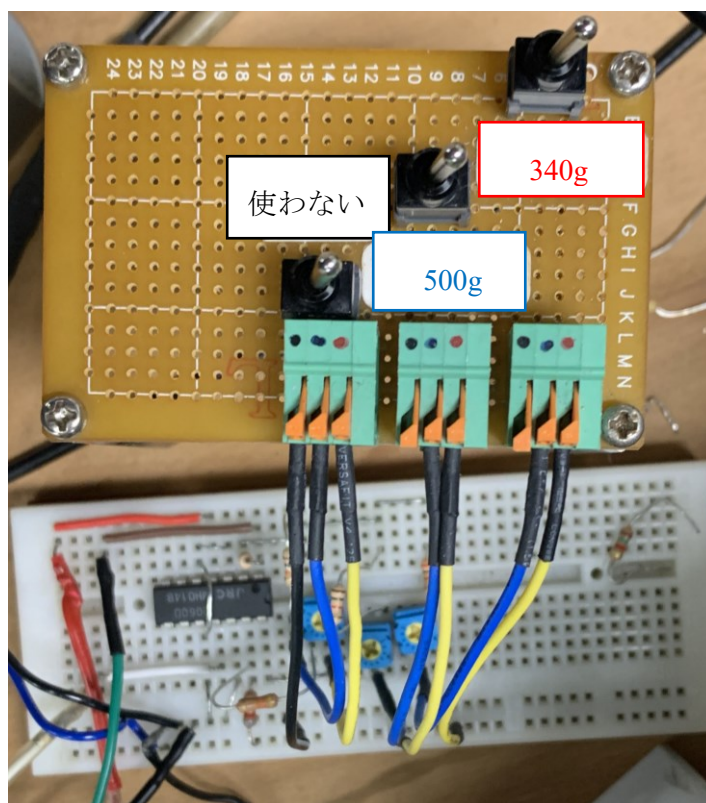


Fig. 2.4 Switch and control circuit

2.3 制御方法

物体が地面（机）から離れているとき、物体に加わる力は、重力、人が物体を持ち上げる力、ボイスコイルモータがアシストする力の3つである。アシストする力 F_a [N]の決め方は以下である。

物体の運動方程式をたてると、

$$m\ddot{x} = F_a + F_h - mg \quad (1)$$

被験者が指定した質量 m_d の物体の持ち上げ操作を行うことを目標とするので、目標インピーダンスモデルを次式とする。

$$m_d\ddot{x} = F_h - m_dg \quad (2)$$

式(1)と式(2)より加速度 \ddot{x} を消去して、 F_a について解くと、アシスト力 F_a は以下のようになる。

$$F_a = \left(\frac{m}{m_d} - 1\right) F_h \quad (3)$$

物体が地面（机）についているとき、加速度を0として運動方程式を立てると、

$$0 = F_a + F_h - mg + R \quad (4)$$

この式を(3)に代入すると、

$$0 = F_h - m_dg + \frac{m}{m_d}R \quad (5)$$

Rについて解くと、以下のようになる

$$R = \frac{m}{m_d}(m_dg - F_h) \quad (6)$$

通常、接地過程のときの動作モデルは、

$$0 = F_h - m_dg + R \quad (7)$$

両式を比べると、(6)は(7)と比べてRが $\frac{m}{m_d}$ 倍されている。しかし、人間にはこの反力を知覚できないため、いずれの場合も m_dg の力で持ち上げることで机から離れて加速度がおこる。よって、(5)の式のように制御することで仮想質量を m_d と等しくできる。

x	変位[m]
F_h	人の持ち上げ力[N]
F_a	VCMのアシスト力[N]
m	物体質量[kg]
m_d	目標質量[kg]
R	机からの反力[N]
g	重力加速度[m/s ²]

Table2.2 Parameters used for description of motion equations

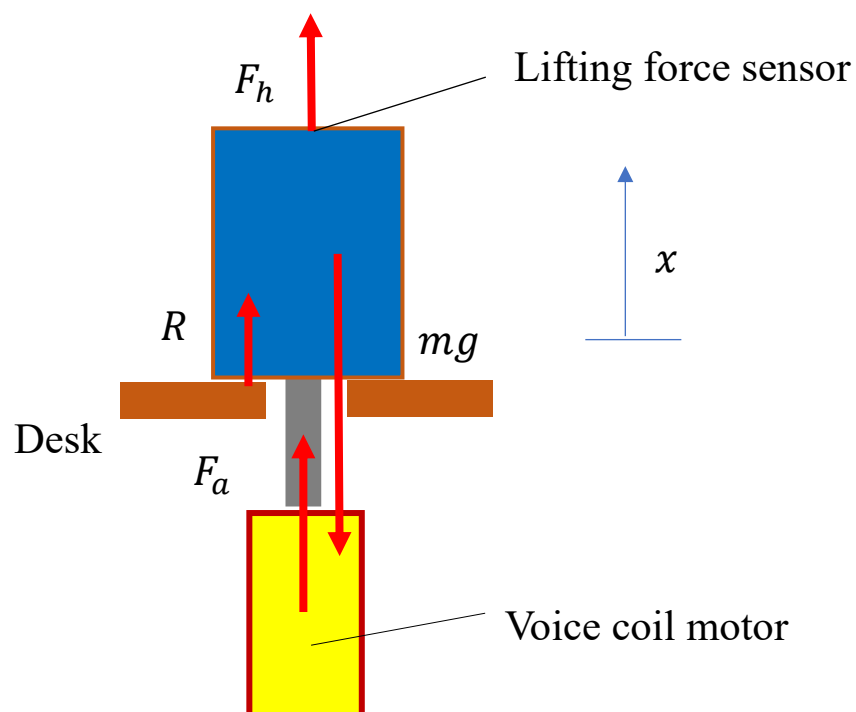


Fig. 2.5 Model of experiment equipment

第3章

実験内容

3.1 実験の概要

今回の被験者は ABCDEFGHI の 9 人とする。重量感覚を調べるため、被験者には一定の BPM に合わせて 680[g]の物体の持ち上げ動作を数回行ってもらい、その後、被験者に知られないように質量を変える。用意した質量は 680,500,340[g]の 3 種である。一回の試技で 680[g]を数回持ち上げた後に 680,500,340[g]のどれかを持ち上げ、その時どう感じたかを心理アンケートで調査する。また、BPM を 30,60,90 の 3 つを用意し、持ち上げ速度による心情への影響を調べる。680~340[g], 680g~500[g], 680~680[g], の 3 種類の質量変更をそれぞれ 3 回行い、9 回の試技を行う。さらに 3 つの BPM で 9 回を 3 セット行うため、一人の被験者に対して一回の実験で行う試行の回数は 27 回となる。そのため、心理アンケートも 27 回行う。心理アンケートの質問項目は、Fig. 3.1 のように、軽い-重い、危険な-快適な、などの 10 対 20 個の形容詞を並べたものであり、3 点満点で得点をつけてもらう。それを形容詞ごとに平均値を出して、BPM と質量変更による影響を心理評価する。

3.2 実験の手順

実験の手順としては、BPM を設定して音の発生タイミングを 4 分の 5 拍子に設定し、1 秒毎に同じ音を、5 秒毎により高い音を発する仕様にする。この 5 秒毎の高い音を持ち上げ、および下ろしの合図とする。すなわち被験者は合図に合わせて 5 秒間隔で持ち上げ、下げを繰り返すことになる。持ち上げる高さは、高すぎると軽くしたとき、機械を壊してしまう可能性があったため、約 20[mm]を目安として設定した。繰り返し

回数は5回から7回のランダムとし、繰り返し試技の後、操作者は被験者に知られないように手元のスイッチで680,500,340[g]の中からランダムで1つ選び、質量を変えて被験者が物体を完全に持ち上げた瞬間に、操作者は「はい」と声を発する。被験者は声が聞こえたら持ち上げるのをやめる。オシロスコープで持ち上げ力の時間微分と変位の時間微分波形を読み取り、心理アンケートを行う。このサイクルを1試行とし、各質量パターンにつき3試行、各BPMにつき3試行ずつ行い、被験者一人につき27回の試行が行われる。よって、一人につき、波形もアンケートも27回測定する。今回は9名に行った。

- ① 軽い 重い
- |---|---|---|---|
- 3 -2 -1 0 1 2 3
- ② 圧迫感のある 解放感のある
- ③ 危険な 安全な
- ④ 動きの遅い 動きの速い
- ⑤ 応答性の悪い 応答性の良い
- ⑥ 驚きなし 驚きあり
- ⑦ 恐怖感のない 恐怖感のある
- ⑧ 束縛された 自由な
- ⑨ 操作しづらい 操作しやすい
- ⑩ 鈍感な 敏感な

Fig. 3.1 Psychological questionnaire

第4章

実験結果

4.1 本章の概要

4.2 では実際に、680[g]から 680,500,340[g]への質量変更の影響を心理アンケートから評価する。持ち上げ速度の BPM は、30,60,90 の3種類である。BPM と変更質量を横軸とし、点数の平均値を縦軸とする。エラーバーには、標準偏差を使い示した。エラーバーの幅が小さければ、誤差の範囲が少ないといえる。Fig4.1~4.9 は、同じ変更質量のとき、BPM ごとに全体を平均値比較したものである。Fig4.10~は個々の形容詞に焦点を当て、それぞれの変化を平均値比較で調べる。尚、本実験は BPM の順番は完全にランダムとし、順番による影響はないとして考える。

4.3 では、それぞれの形容詞に有意差があるかどうかを調べた結果である。分析には、持ち上げ速度の BPM と重さを二要因とした二要因分散分析を用いた。方法としては、SPSS による一般線型モデルの反復試行を用い、先に 30,60,90 の3つの BPM を比べ有意差を確認し、次にその中から2つを選んで有意差を確認する。有意差の判断は、結果の数字が 0.05 未満のものとする。

4.4 では、オシロスコープで読み取った波形を調べる。被験者は A から I の9人とし、Fig. 4.34 から Fig. 4.60 までにそれぞれの BPM での波形を示す。最後の Fig. 4.61 には、BPM なしの自然の状態の波形を記した。波形 1 に力の時間微分を、波形 2 には位置の時間微分を読み取る。昨年行った主成分分析の実験では波形を読み取る理由は、適切に実験が行えているのかの確認の意味合いが大きかったが、今回は BPM を変えた質量変更実験により、BPM が被験者にどのような影響を表しているのかを波形で調べる。

4.5 では、実験結果の考察を述べる。

4.2 それぞれの持ち上げ速度と質量変更による影響の平均値比較

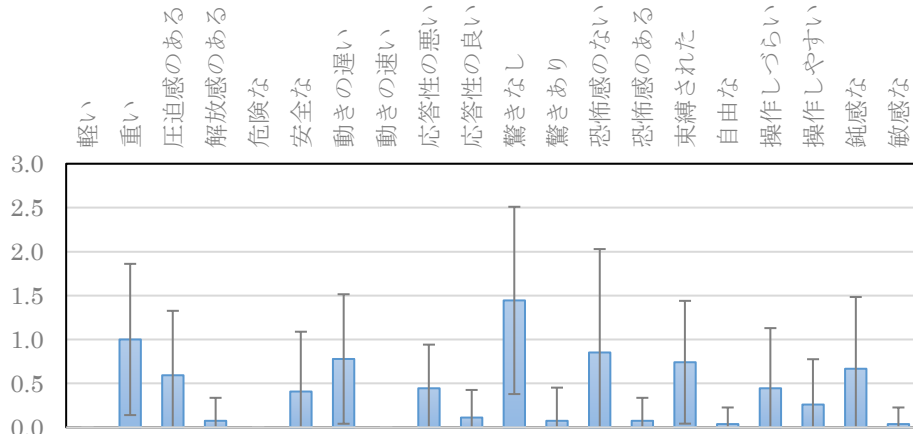


Fig. 4.1 BPM30 680g→680g Psychological questionnaire results

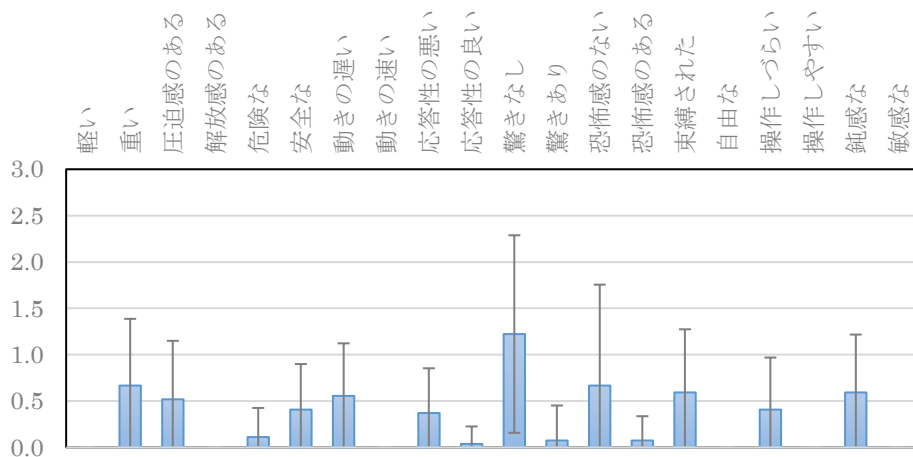


Fig. 4.2 BPM60 680g→680g Psychological questionnaire results

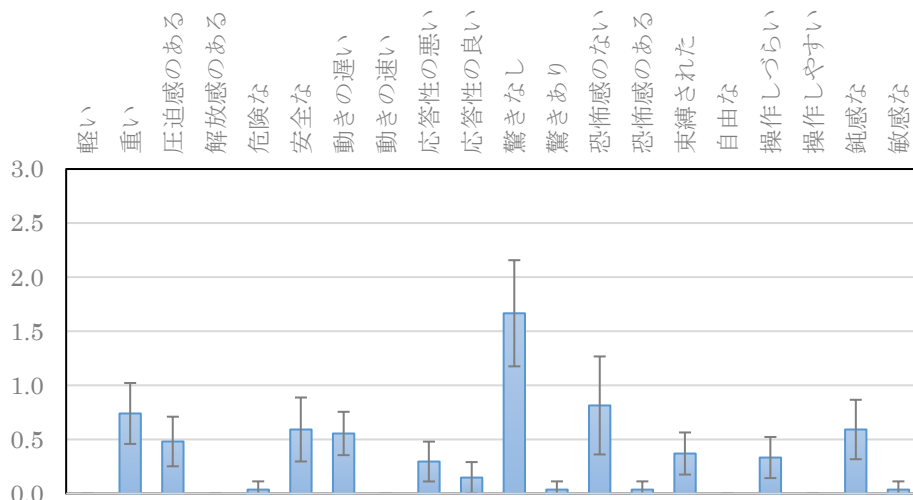


Fig. 4.3 BPM90 680g→680g Psychological questionnaire results

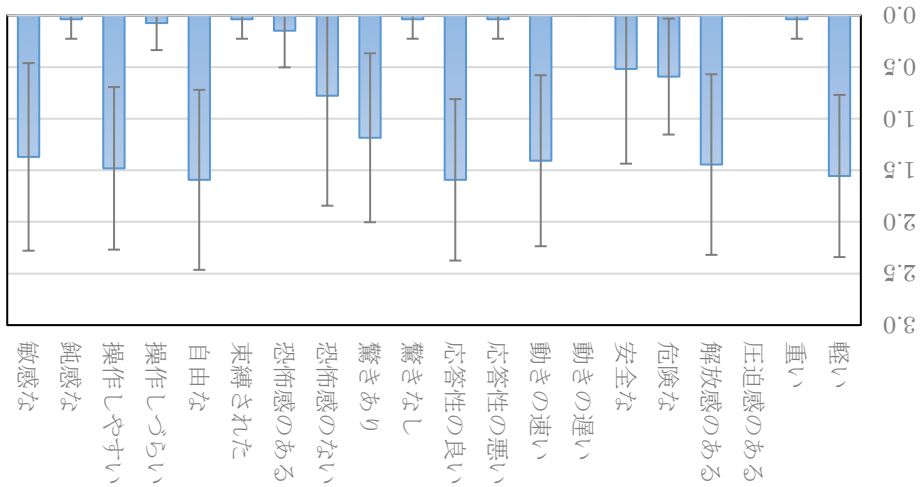


Fig. 4.4 BPM30 680g → 500g Psychological questionnaire results

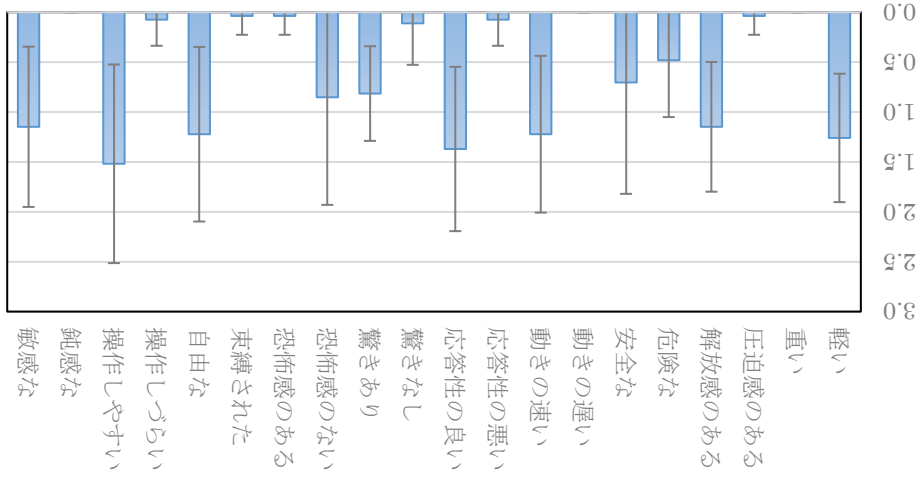


Fig. 4.5 BPM60 680g → 500g Psychological questionnaire results

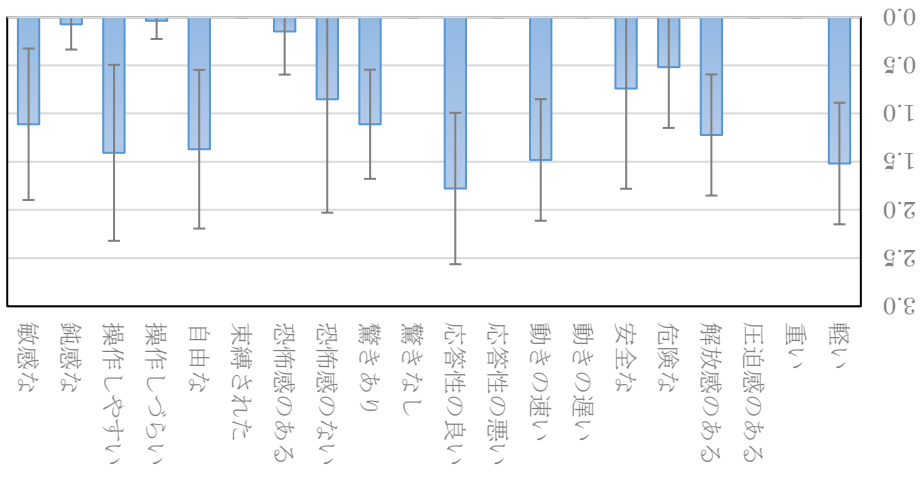


Fig. 4.6 BPM90 680g → 500g Psychological questionnaire results

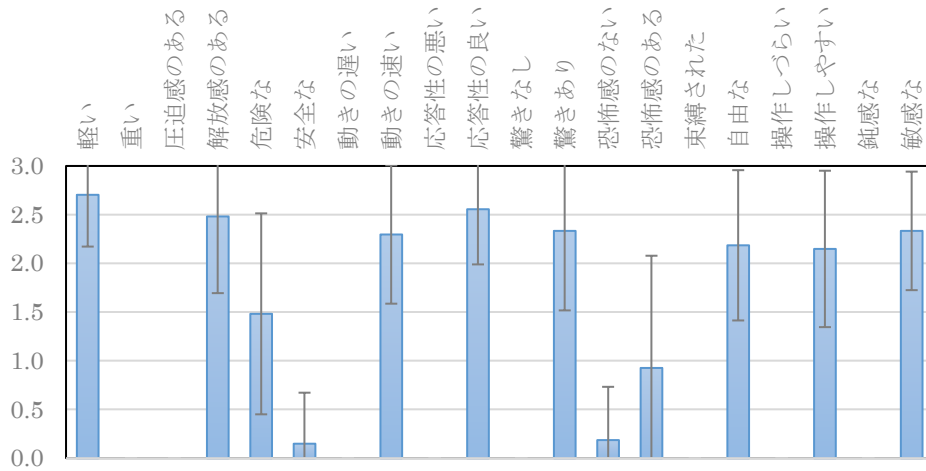


Fig. 4.7 BPM30 680g→340g Psychological questionnaire results

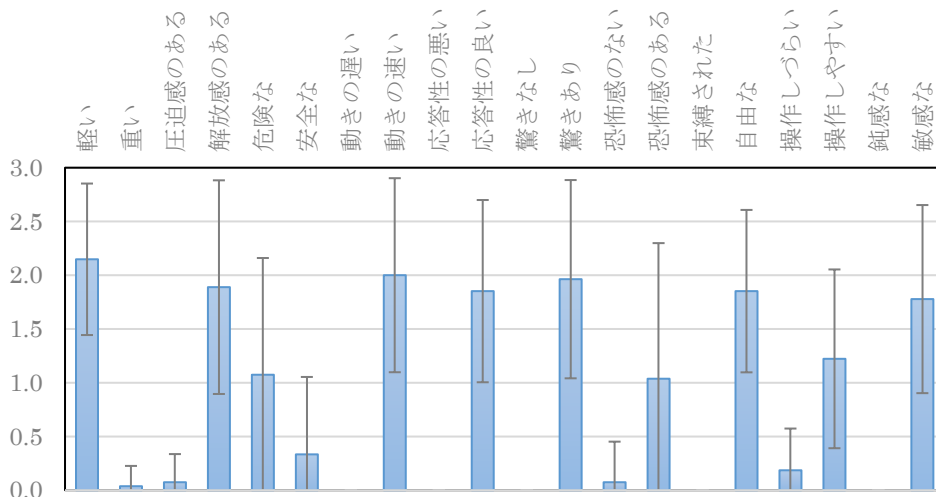


Fig. 4.8 BPM60 680g→340g Psychological questionnaire results

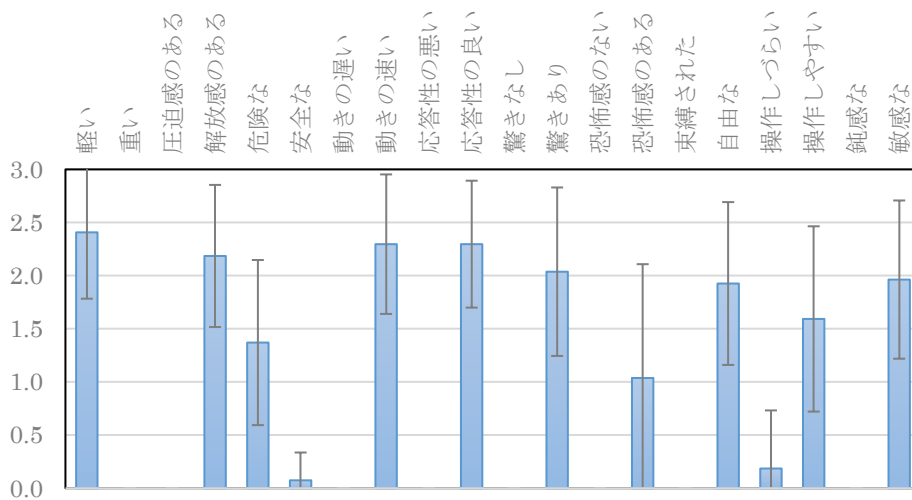


Fig. 4.9 BPM90 680g→340g Psychological questionnaire results

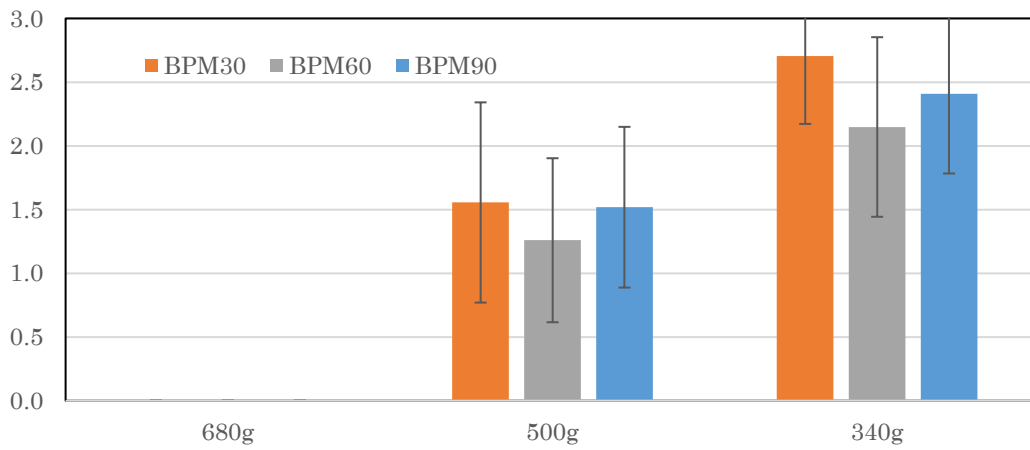


Fig.4.10 "Light" psychological questionnaire results

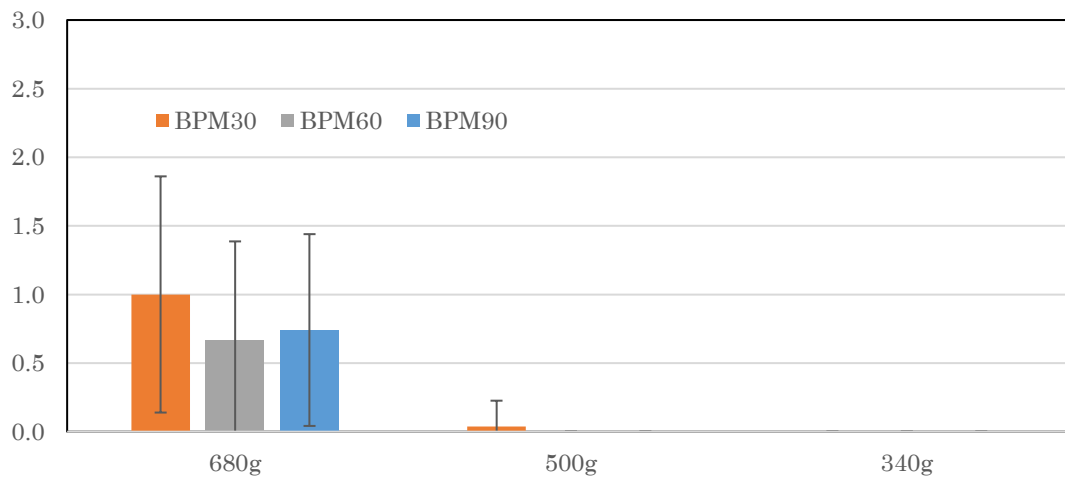


Fig.4.11 "Heavy" psychological questionnaire results

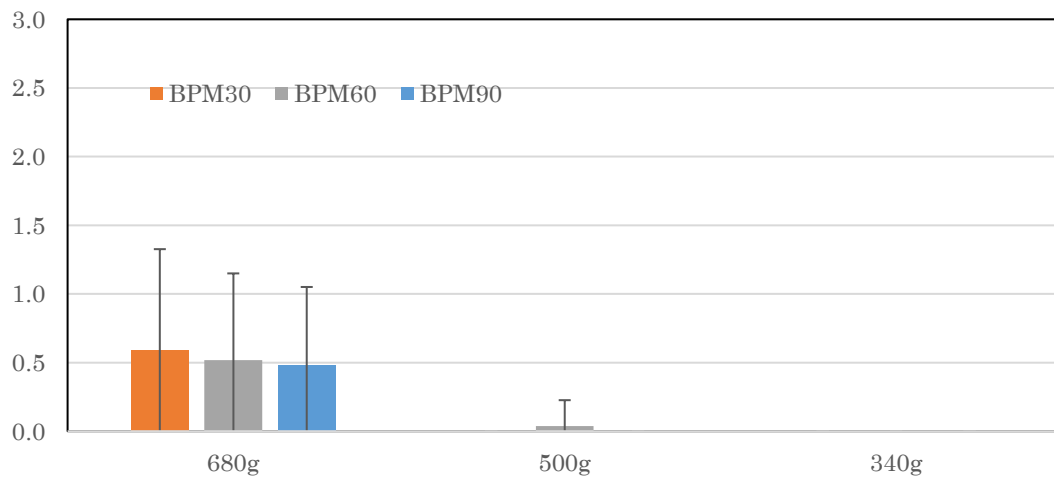


Fig.4.12 "Feeling oppressive" psychological questionnaire results

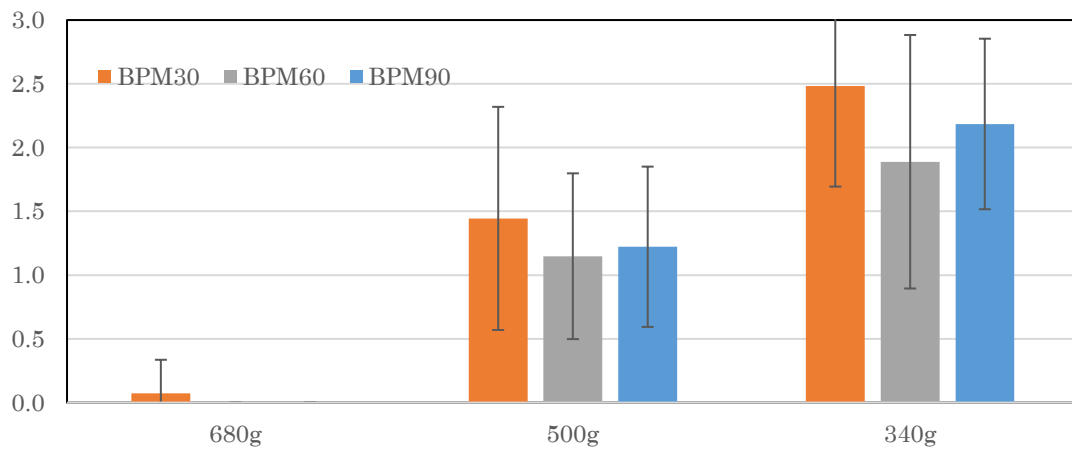


Fig.4.13 "A feeling of liberation" psychological questionnaire results

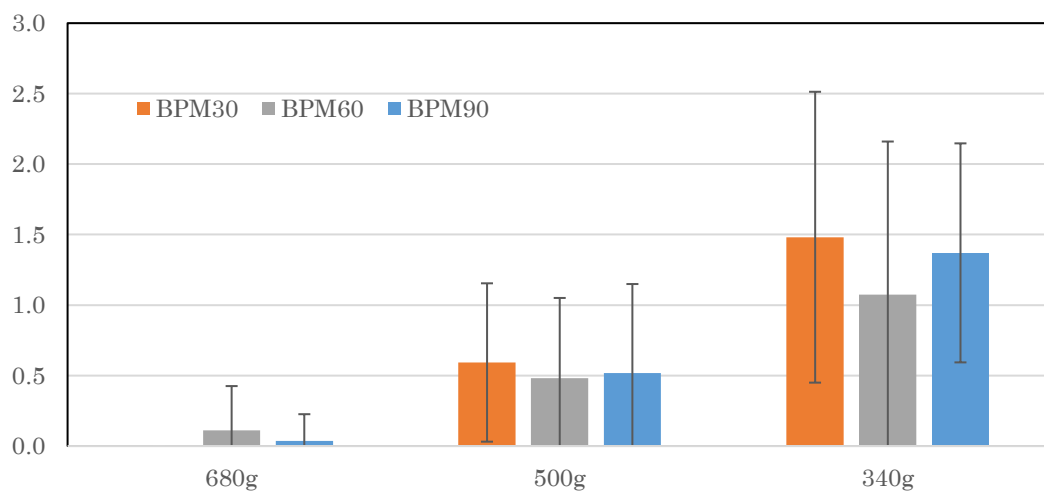


Fig.4.14 "Dangerous" psychological questionnaire results

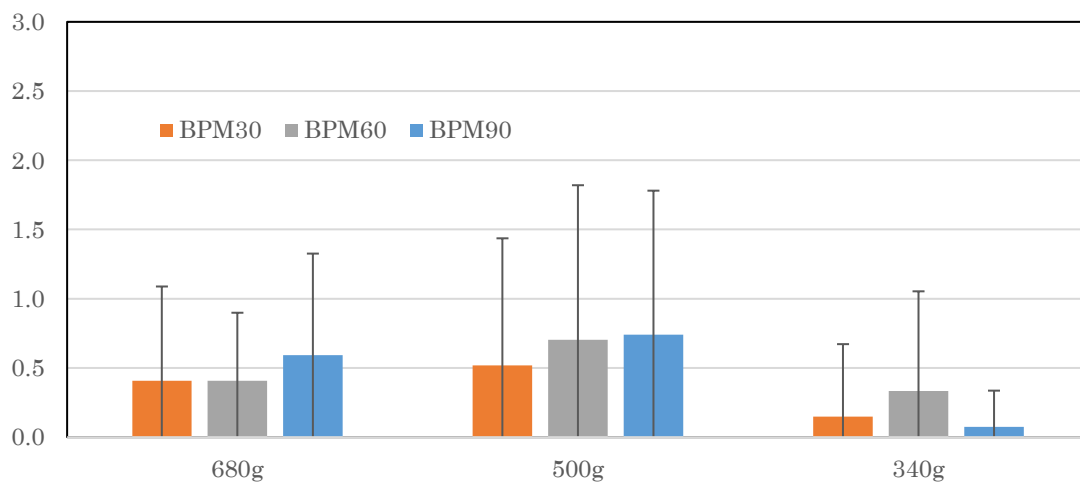


Fig.4.15 "Safe" psychological questionnaire results

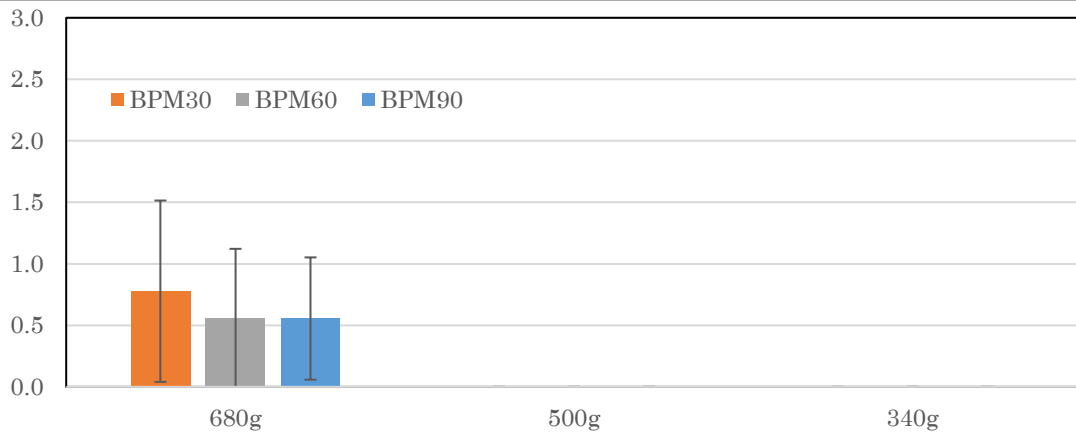


Fig.4.16 "Slow movement" psychological questionnaire results

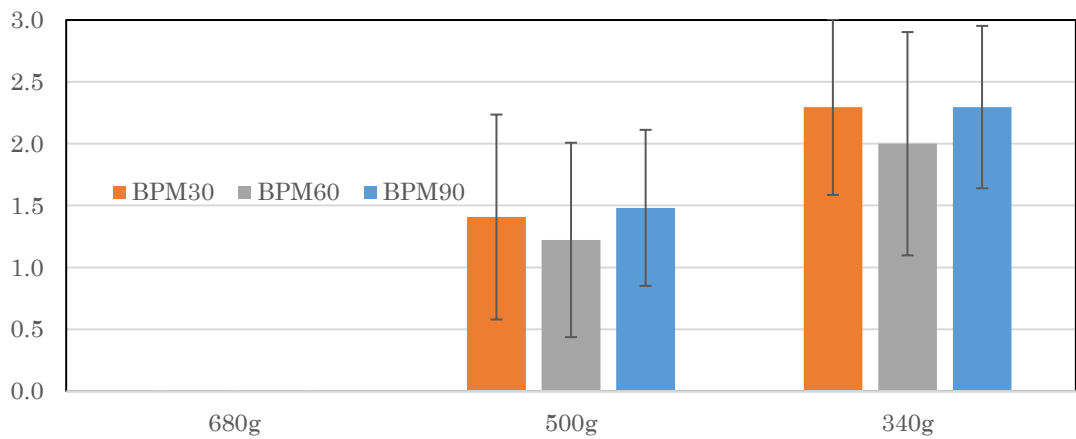


Fig.4.17 "Fast moving" psychological questionnaire results

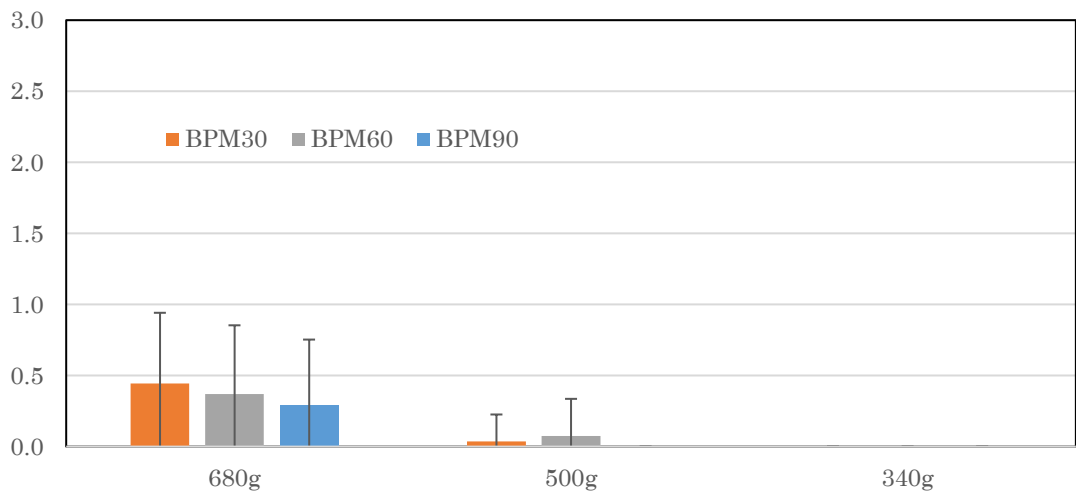


Fig.4.18 "poor responsiveness" psychological questionnaire results

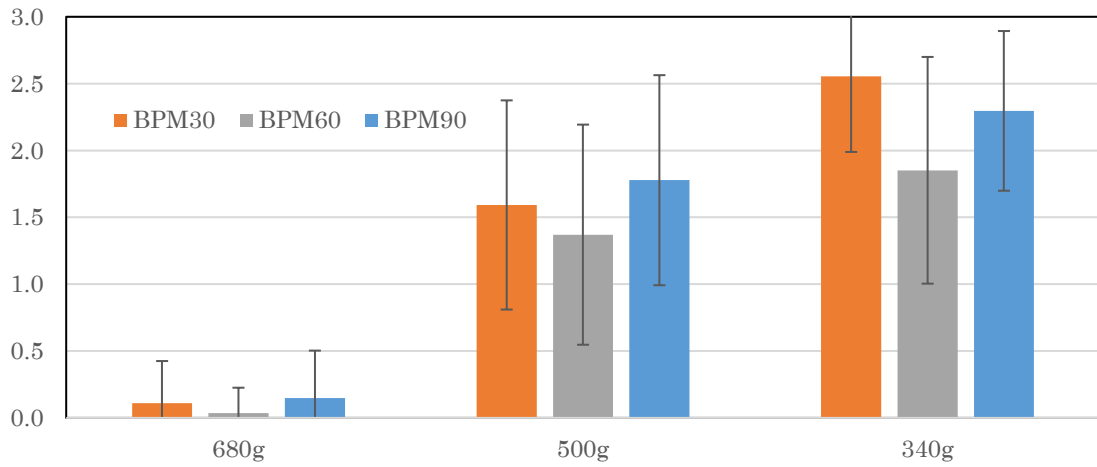


Fig.4.19 " Good responsiveness " psychological questionnaire results

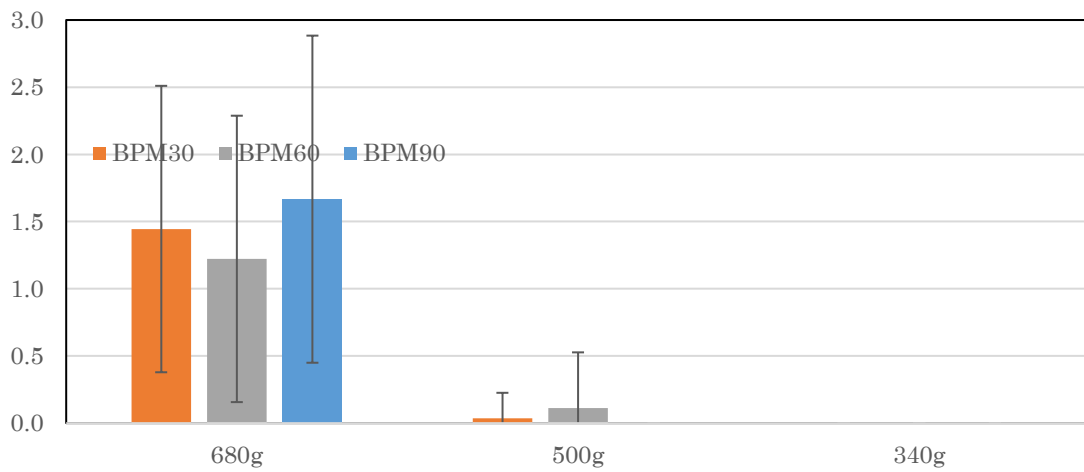


Fig.4.20 "No surprise" psychological questionnaire results

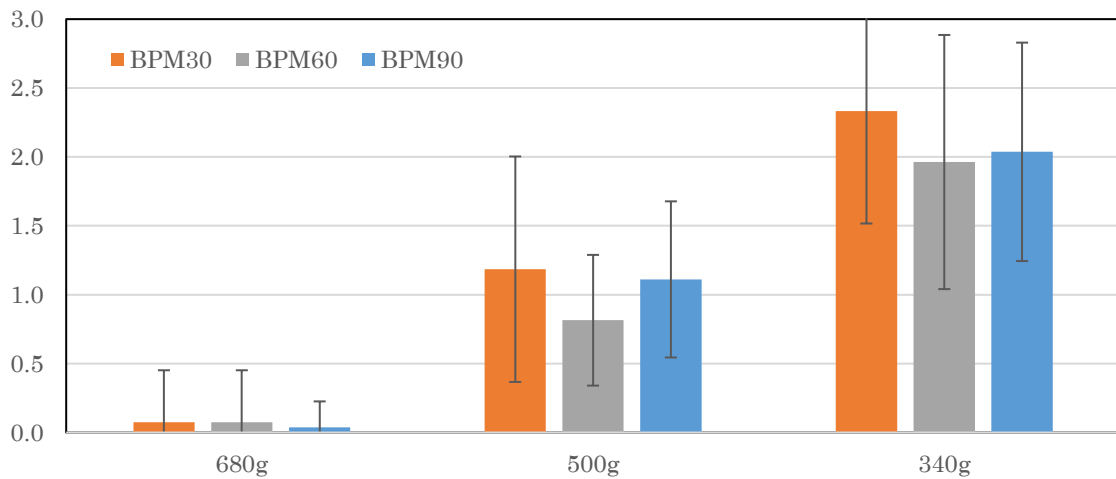


Fig.4.21 "Surprise" psychological questionnaire results

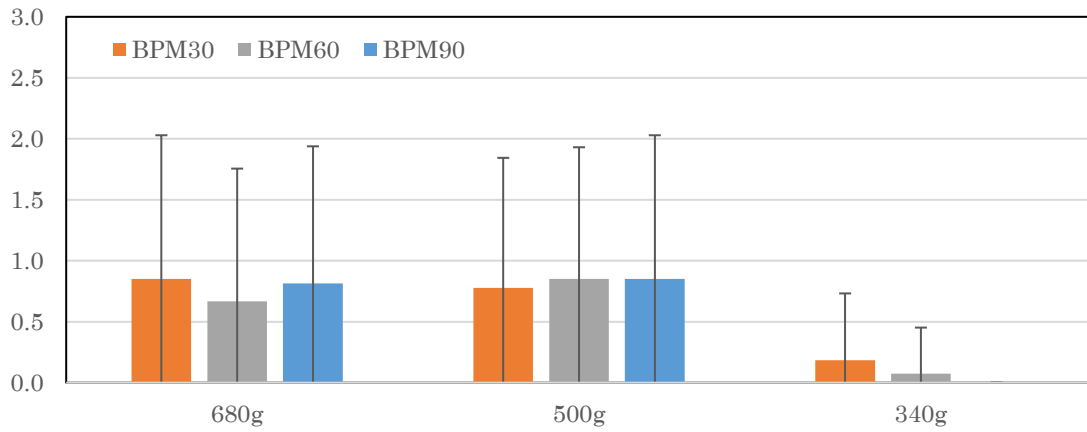


Fig.4.22 "No fear" psychological questionnaire results

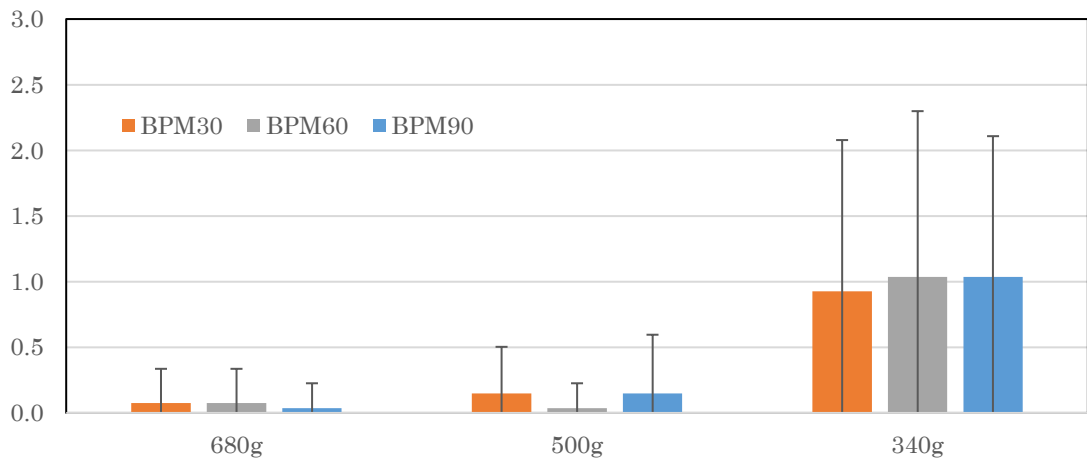


Fig.4.23 "Fear" psychological questionnaire results

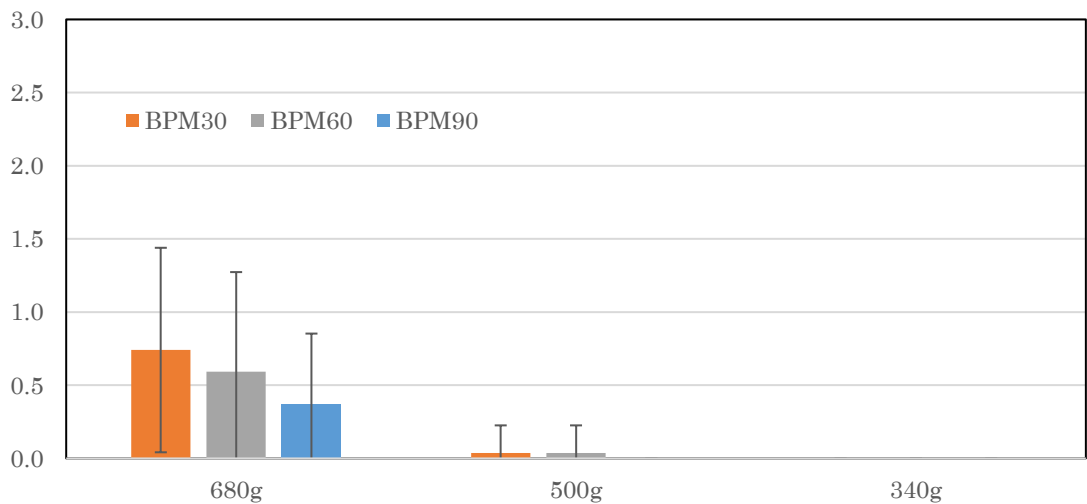


Fig.4.24 "Binded" psychological questionnaire results

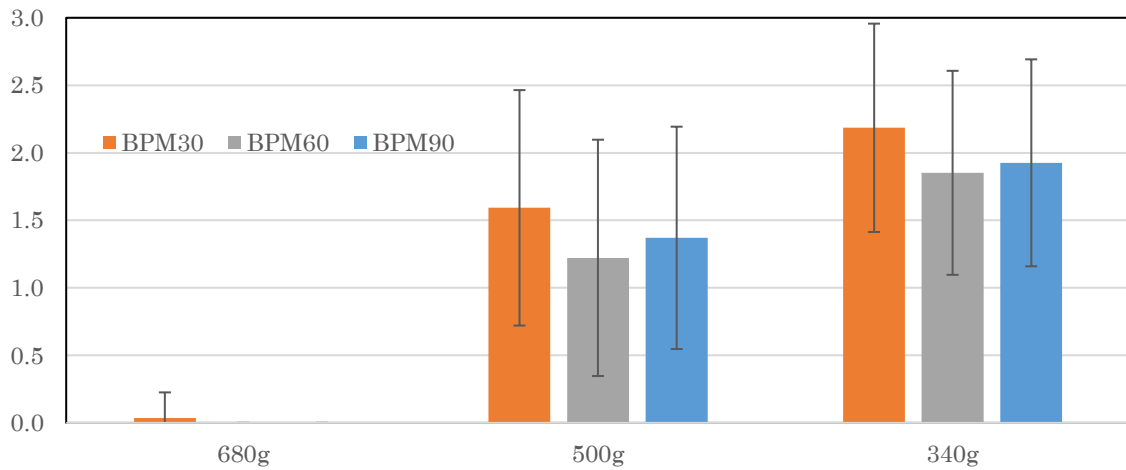


Fig.4.25 "Free" psychological questionnaire results

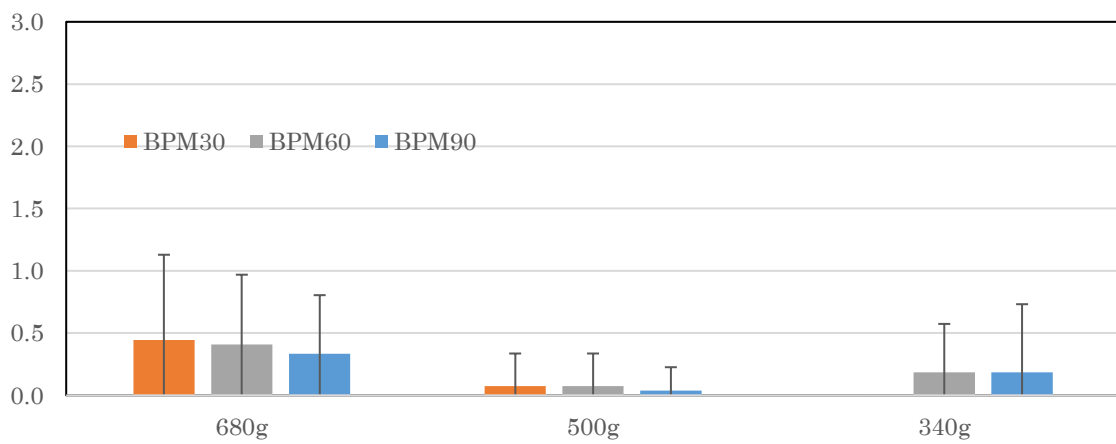


Fig.4.26 "Difficult to operate" psychological questionnaire results

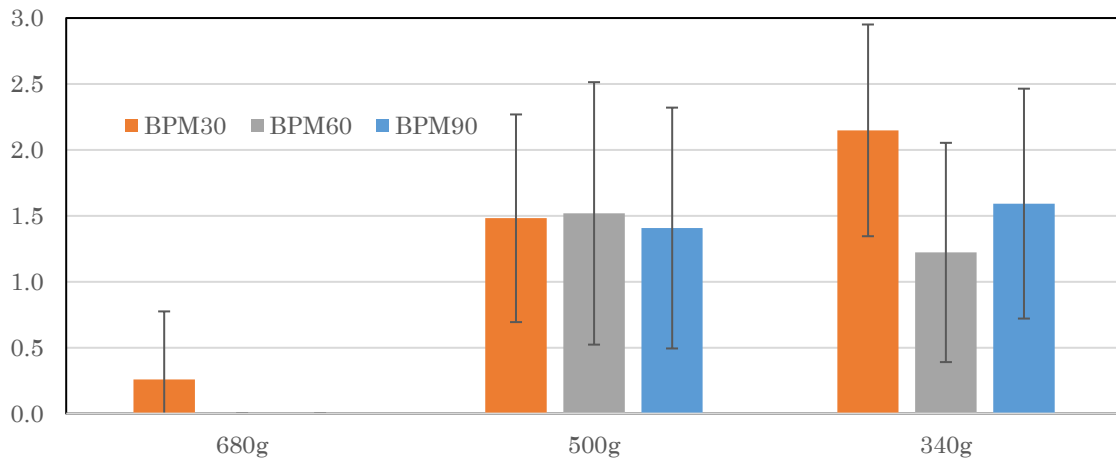


Fig.4.27 "Easy to operate" psychological questionnaire results

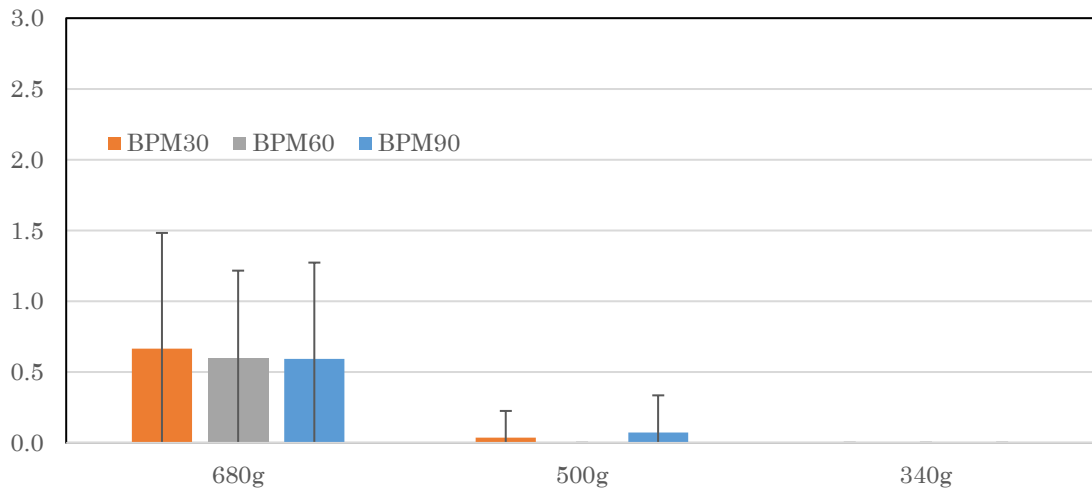


Fig.4.28 "Insensitive" psychological questionnaire results

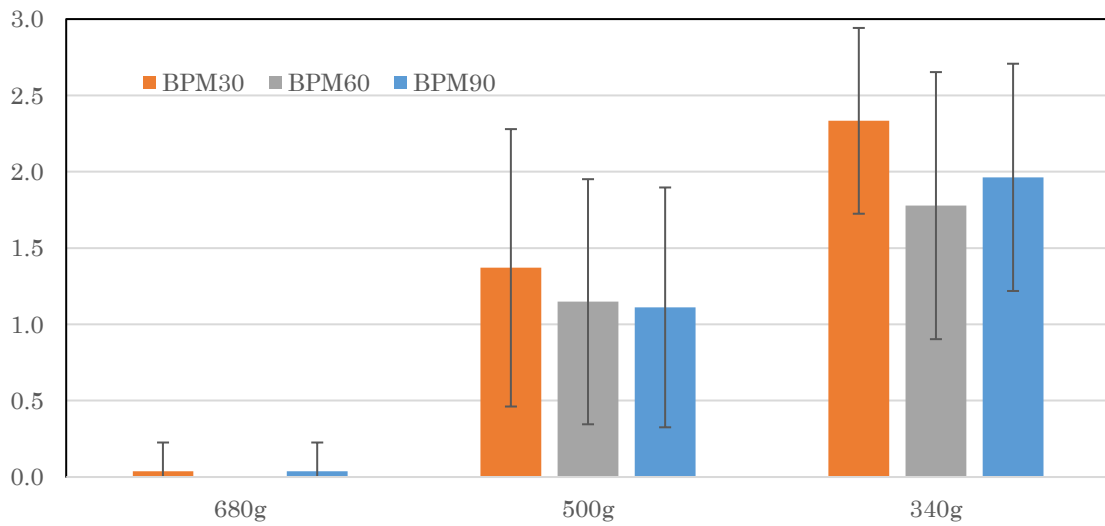


Fig.4.29 "Sensitive" psychological questionnaire results

4.3 有意差の検証

ほとんど全ての形容詞で重さに有意差が出たため、もう一つの要因である BPM について調べた。有意差は 0.05 とし、有意差が出た数字には赤で色をつけた。

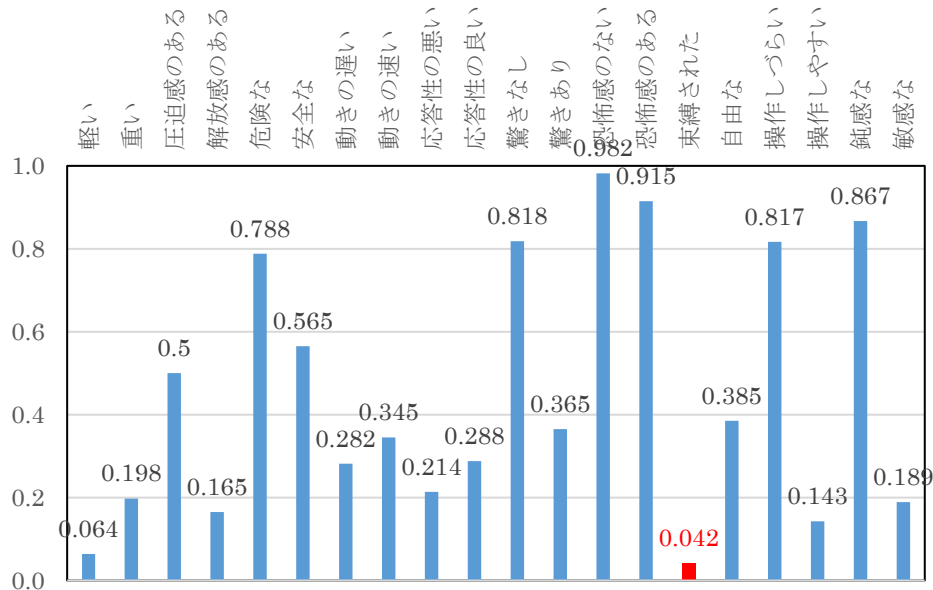


Fig.4.30 Significant difference in all BPM

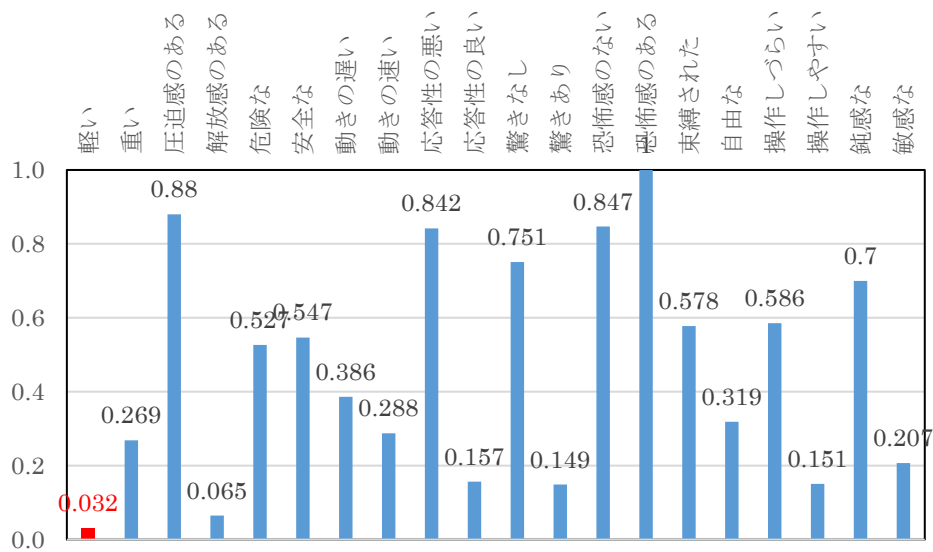


Fig.4.31 Significant difference between BPM 30 and 60

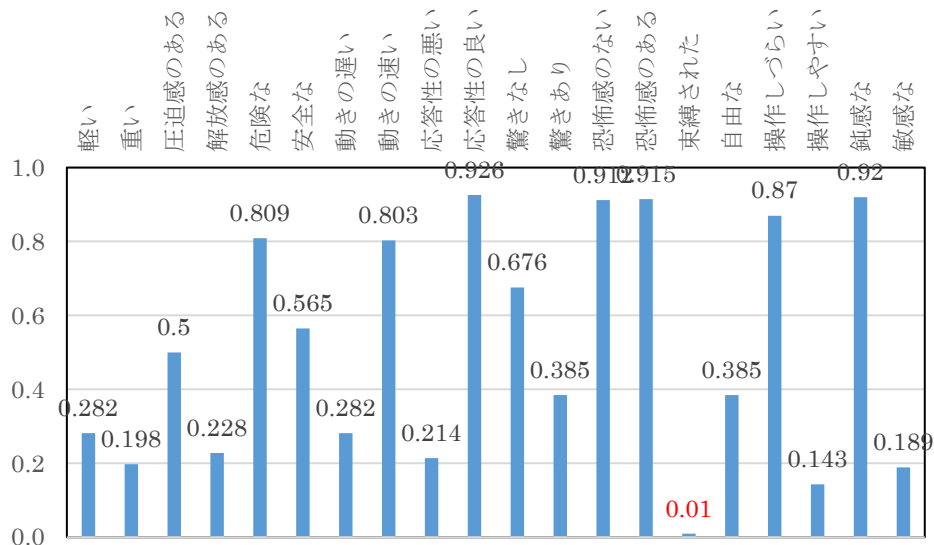


Fig.4.32 Significant difference between BPM 30 and 90

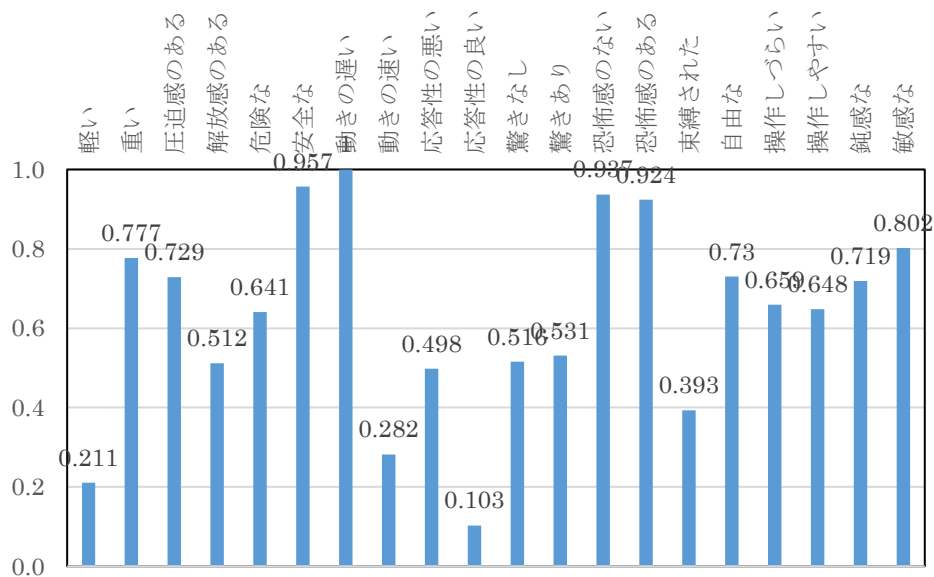


Fig.4.33 Significant difference between BPM 60 and 90

4.4 質量変更実験で取得した持ち上げ力と変位の時間微分の波形

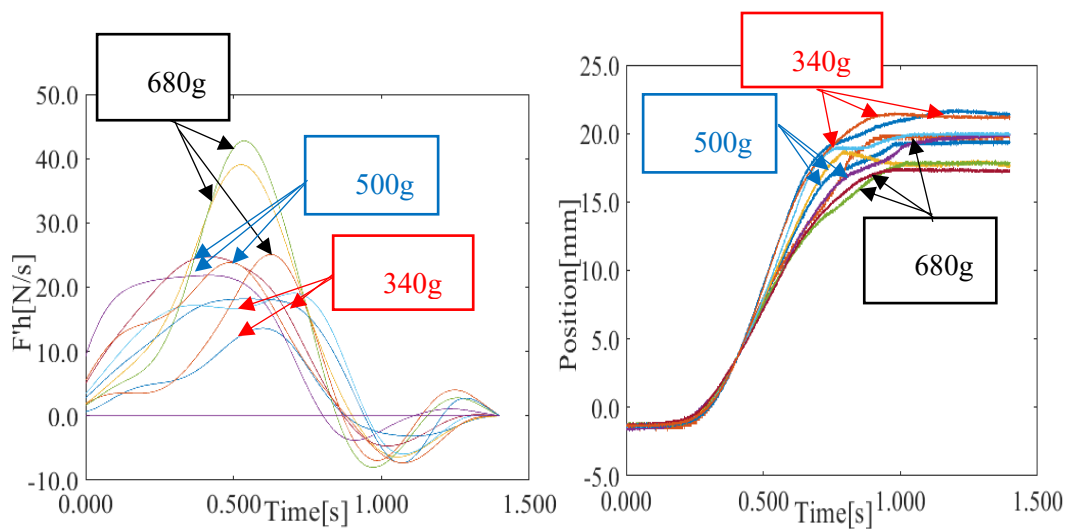


Fig.4.34 Subject A's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

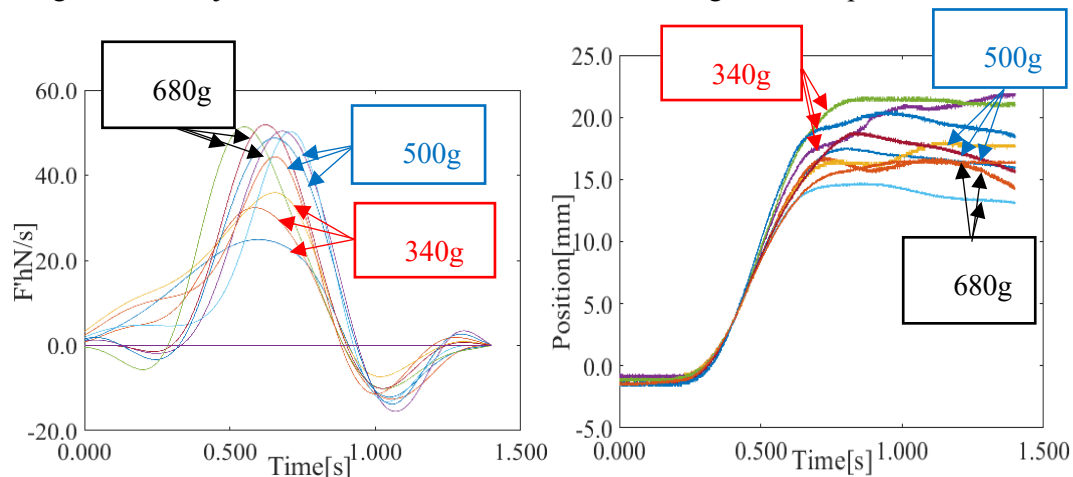


Fig.4.35 Subject A's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

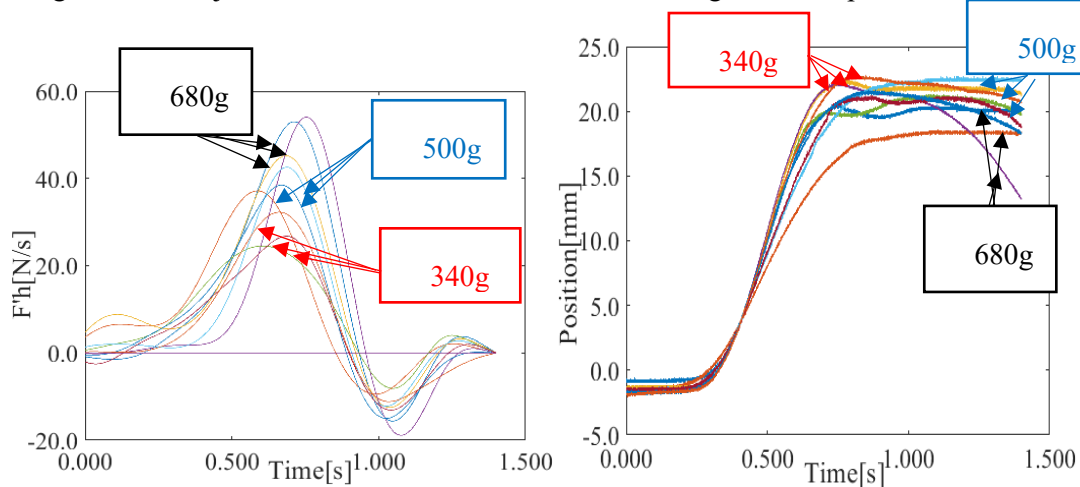


Fig.4.36 Subject A's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

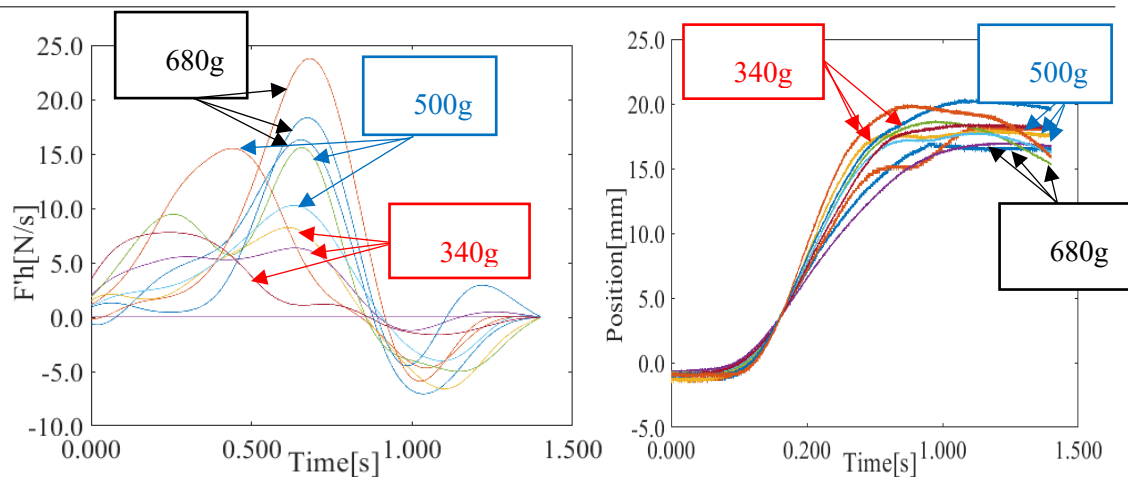


Fig.4.37 Subject B's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

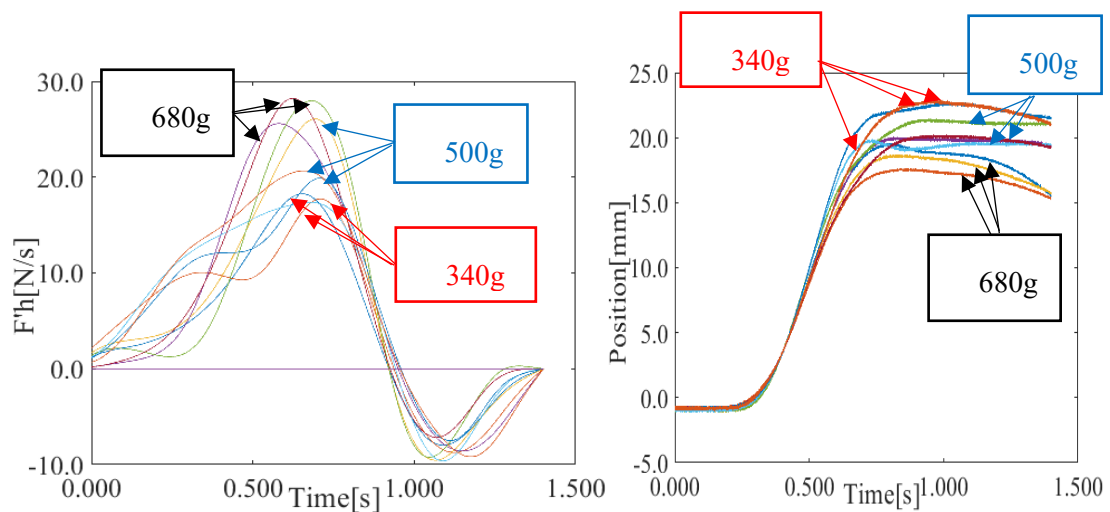


Fig.4.38 Subject B's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

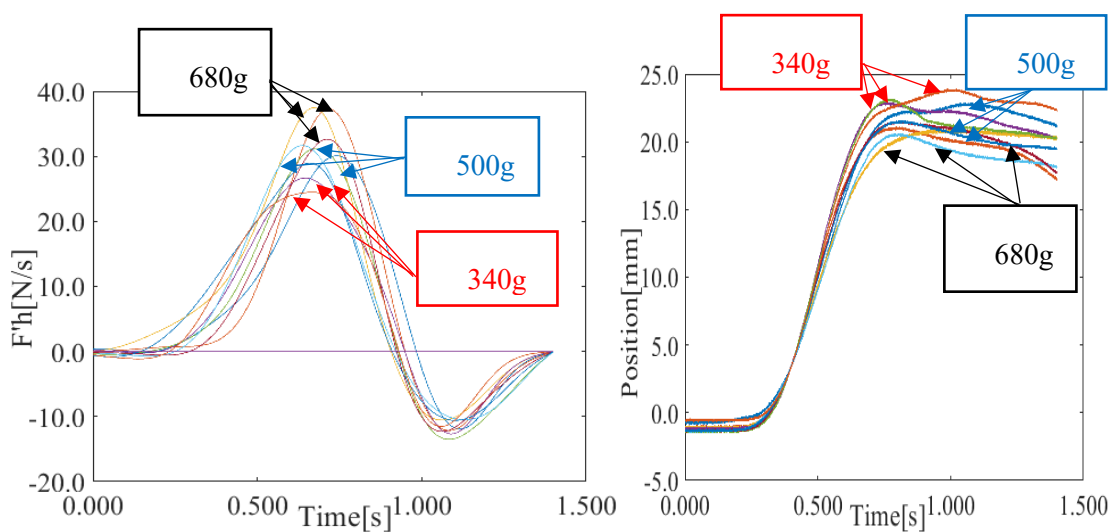


Fig.4.39 Subject B's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

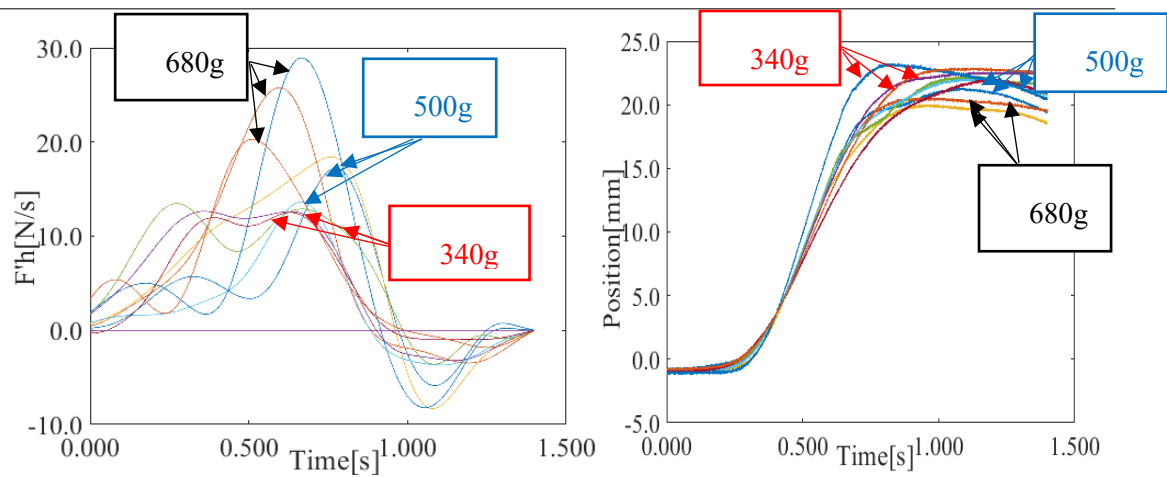


Fig.4.40 Subject C's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

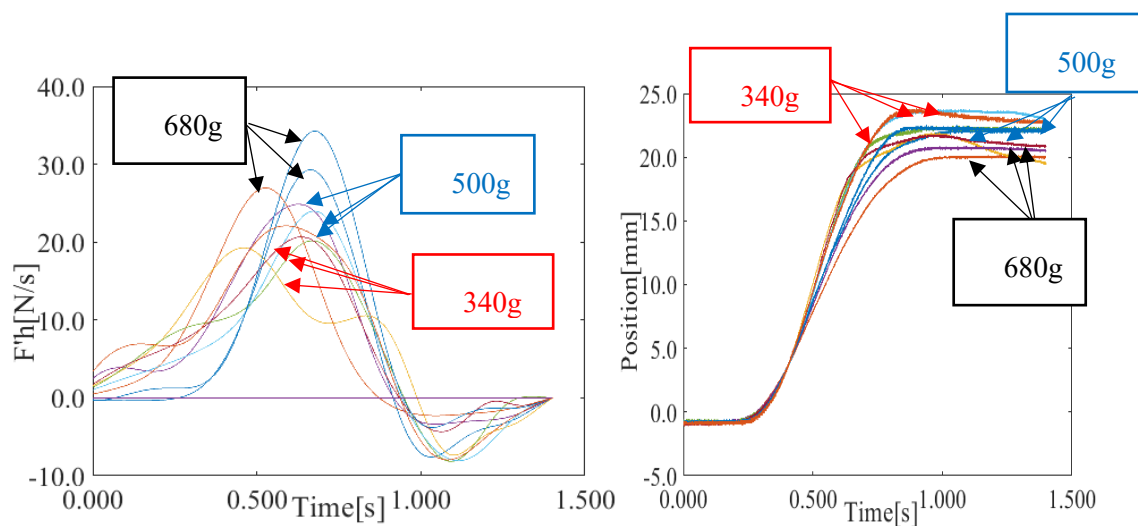


Fig.4.41 Subject C's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

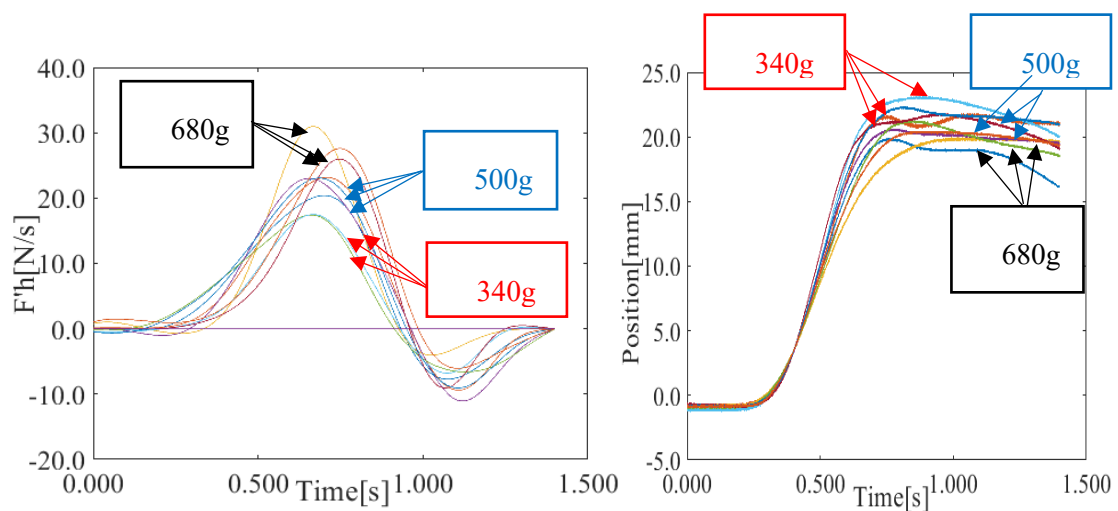


Fig.4.42 Subject C's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

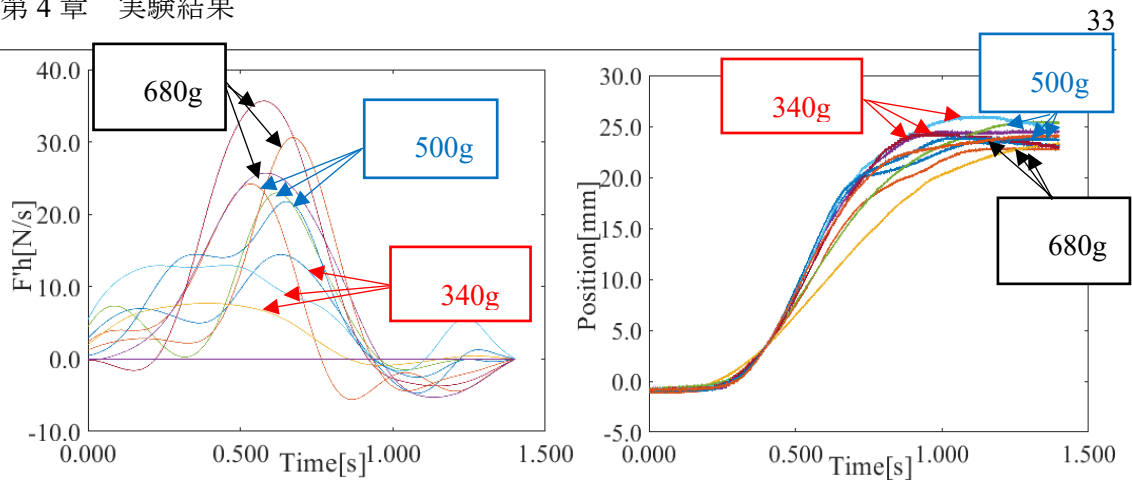


Fig.4.43 Subject D's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

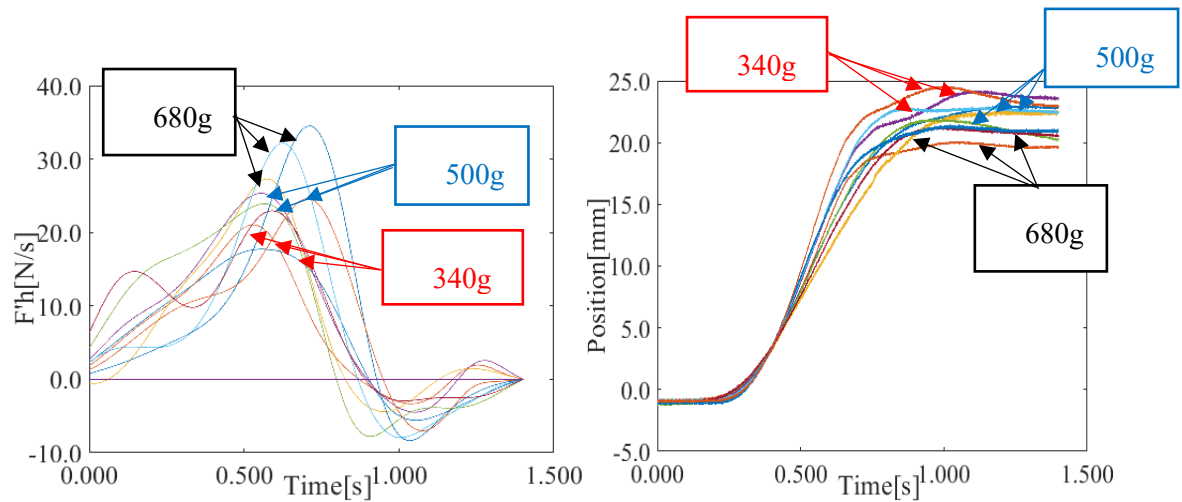


Fig.4.44 Subject D's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

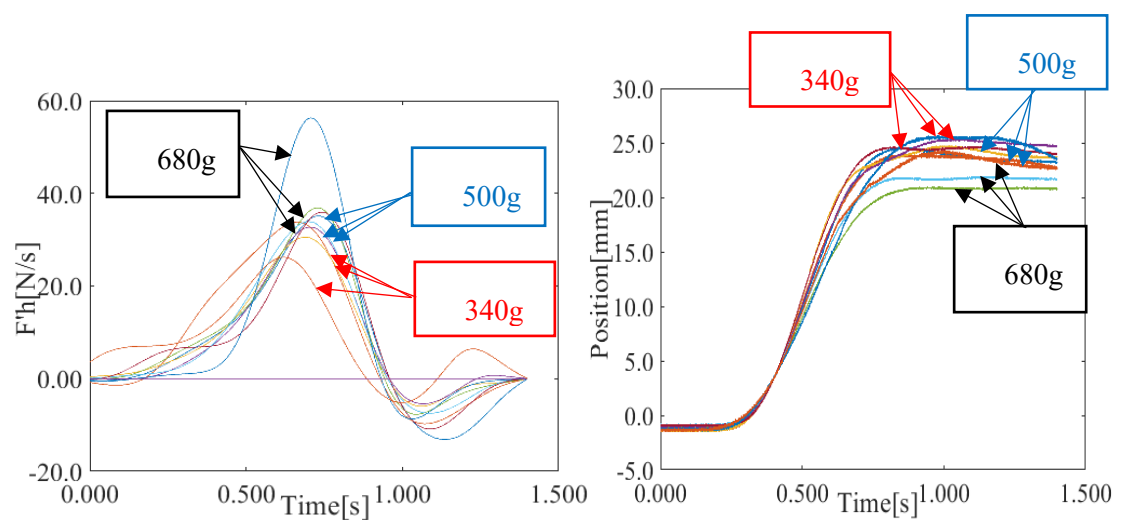


Fig.4.45 Subject D's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

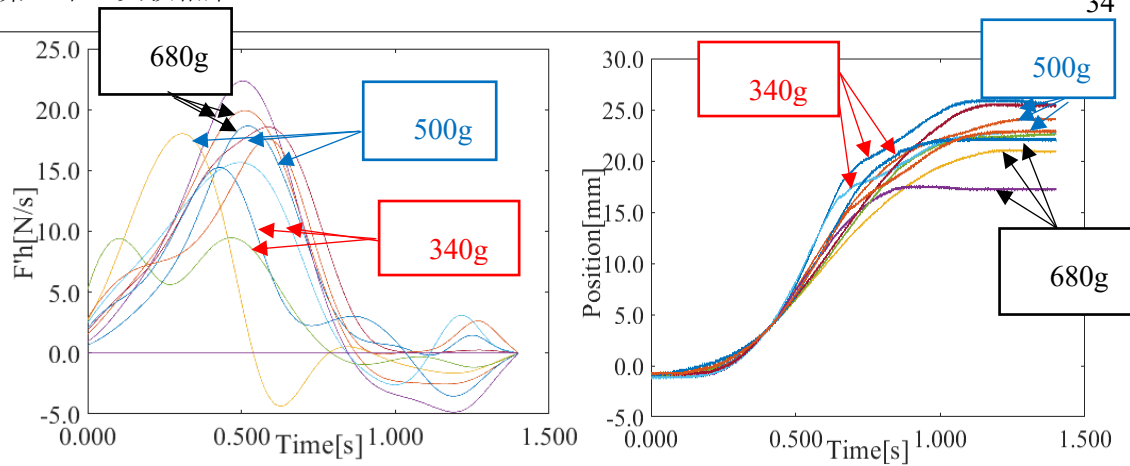


Fig.4.46 Subject E's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

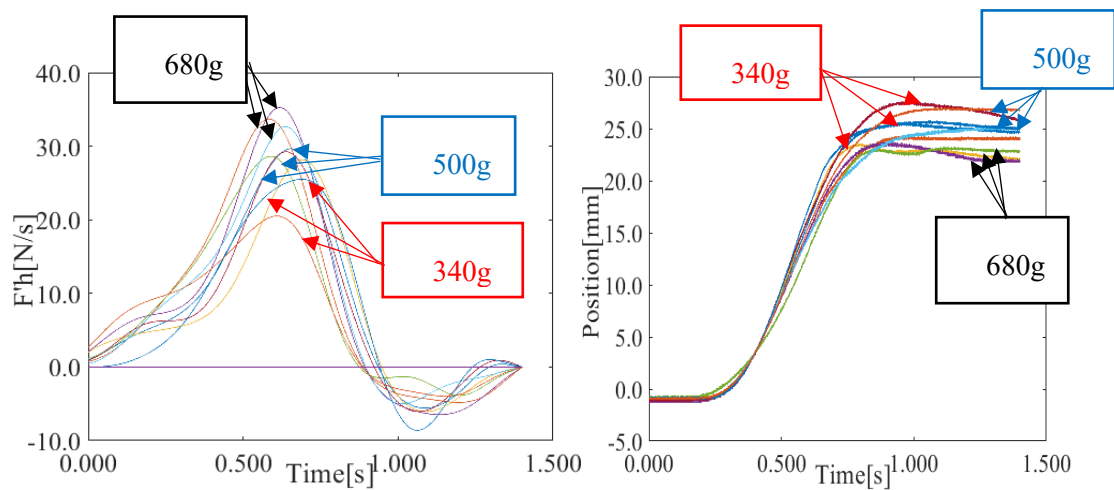


Fig.4.47 Subject E's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

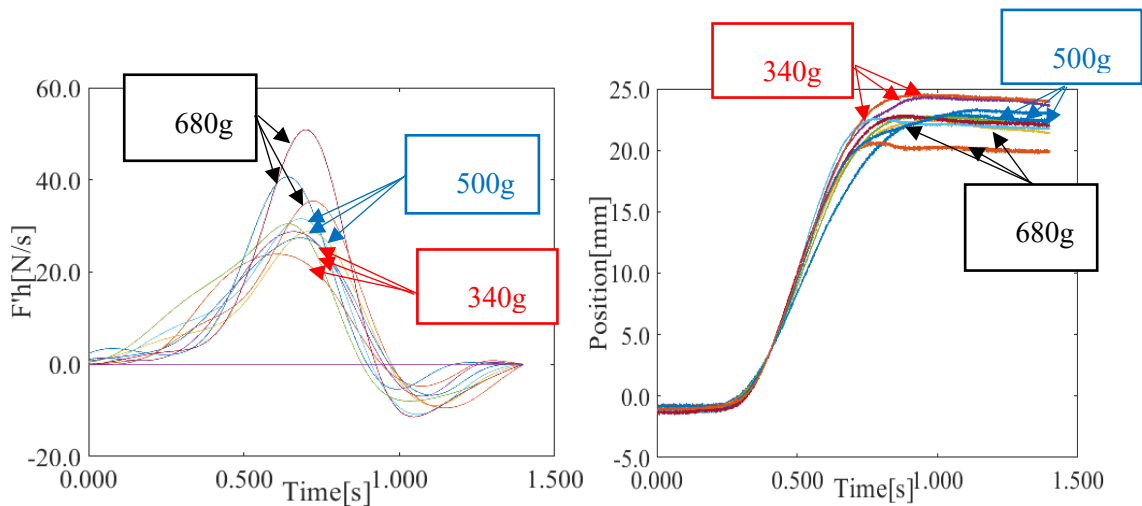


Fig.4.48 Subject E's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

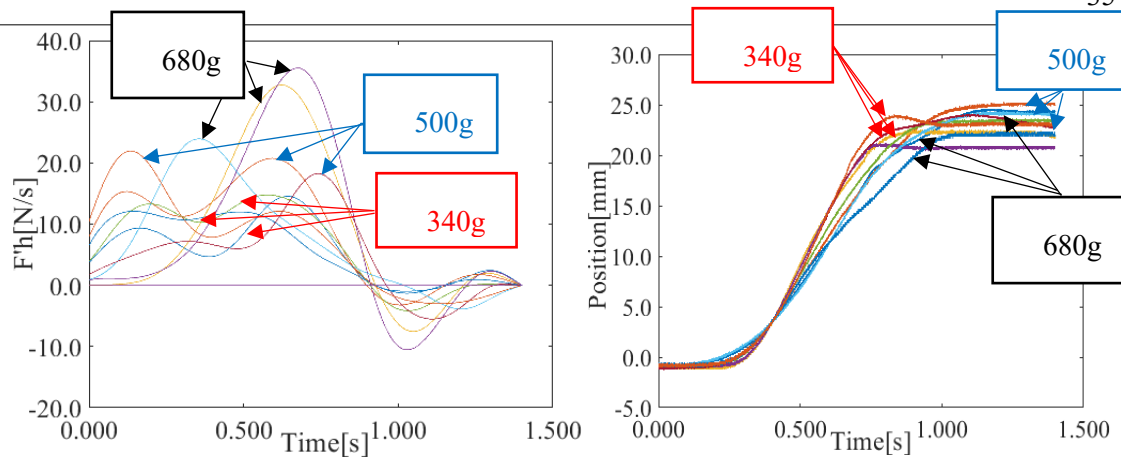


Fig.4.49 Subject F's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

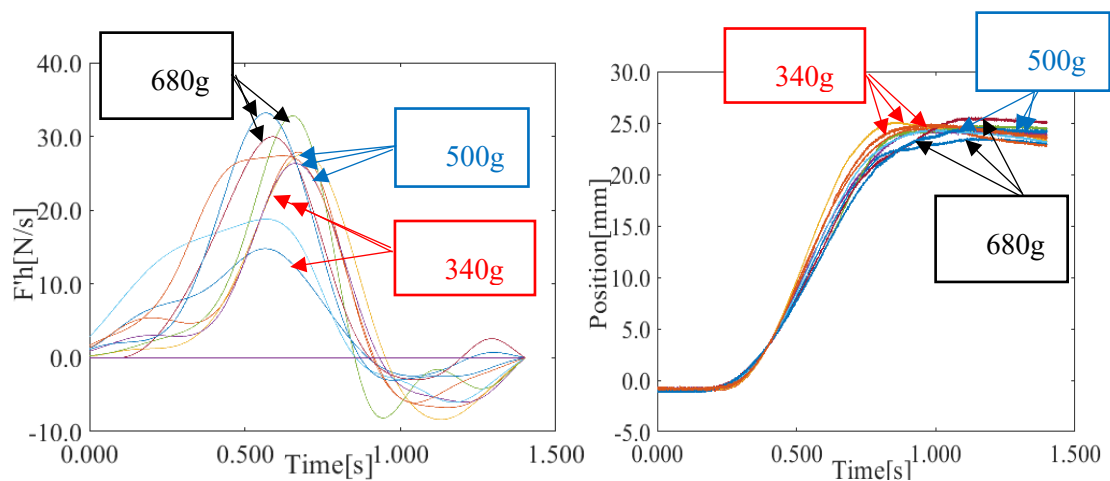


Fig.4.50 Subject F's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

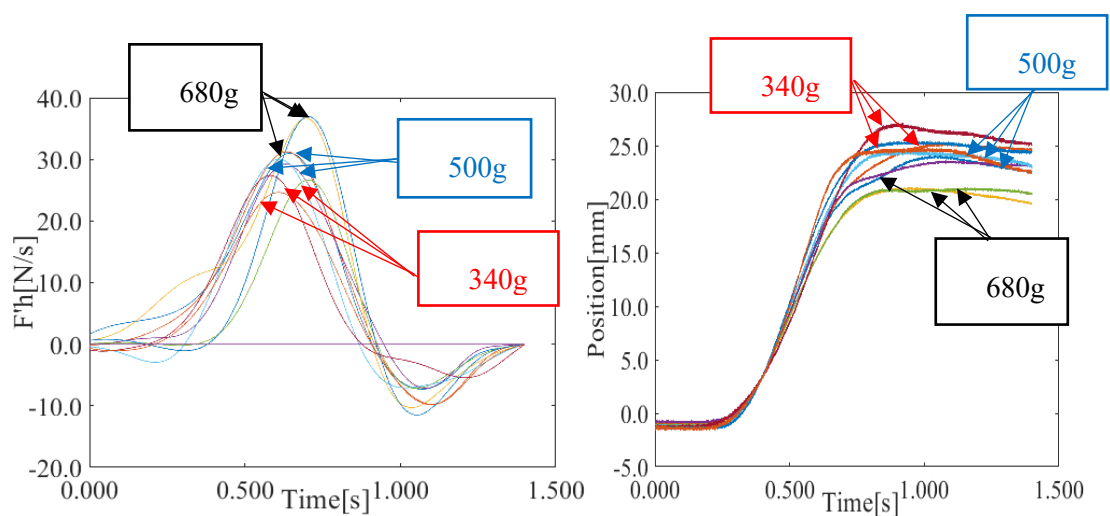


Fig.4.51 Subject F's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

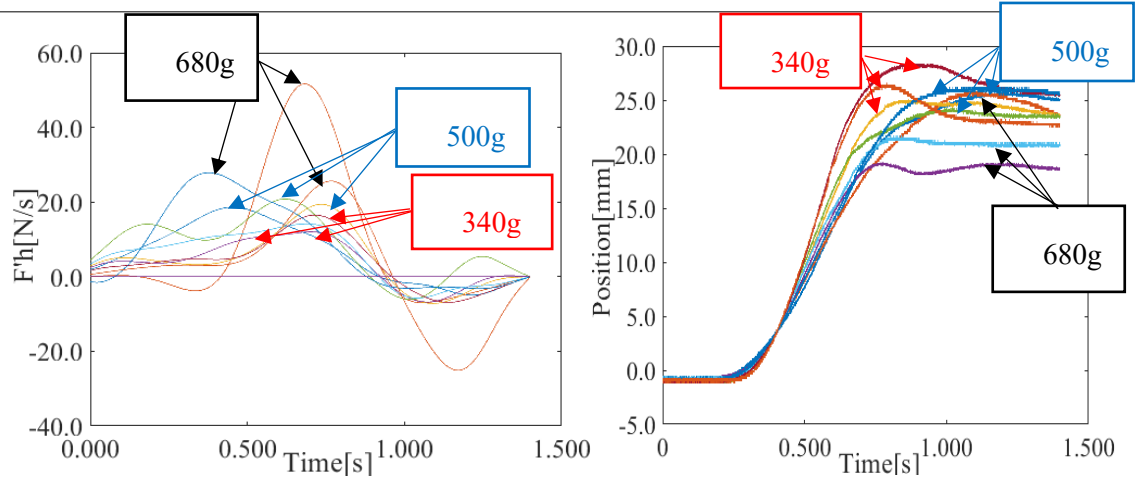


Fig.4.52 Subject G's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

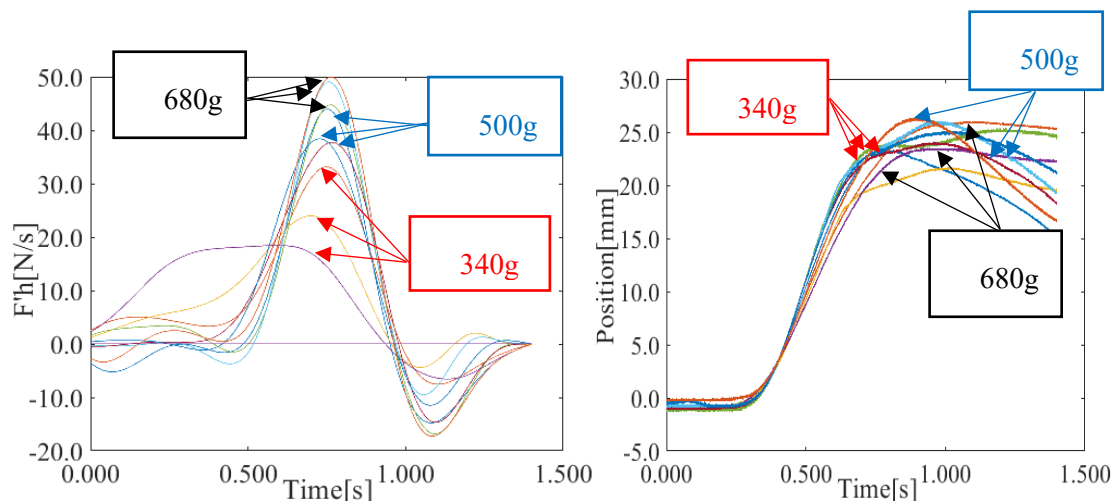


Fig.4.53 Subject G's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

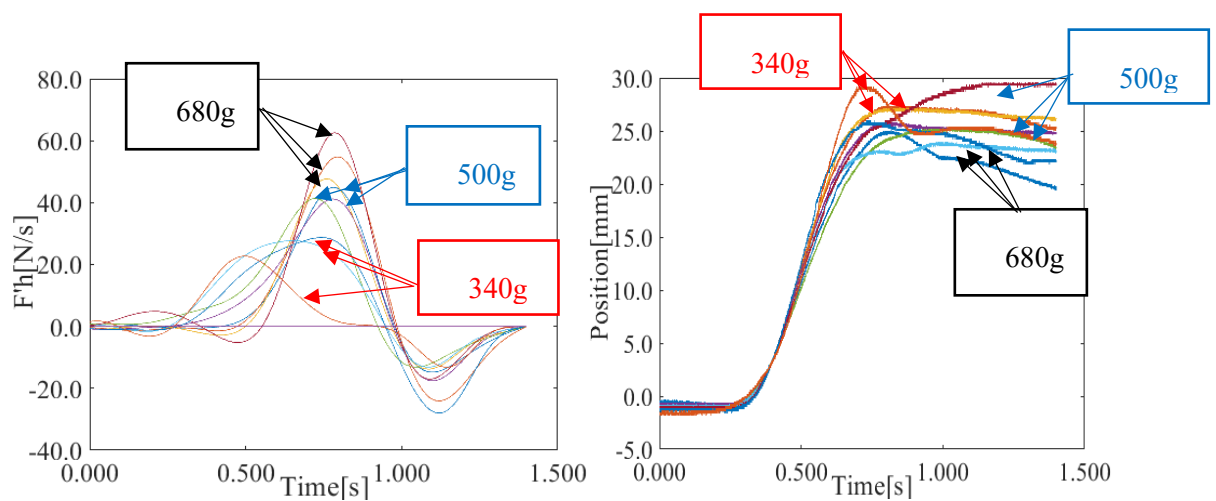


Fig.4.54 Subject G's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

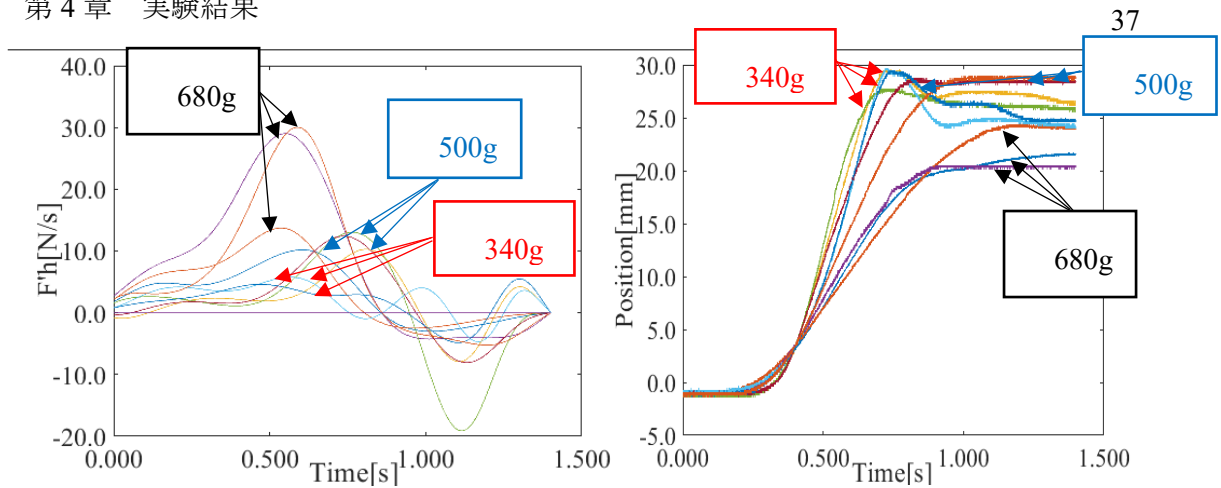


Fig.4.55 Subject H's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

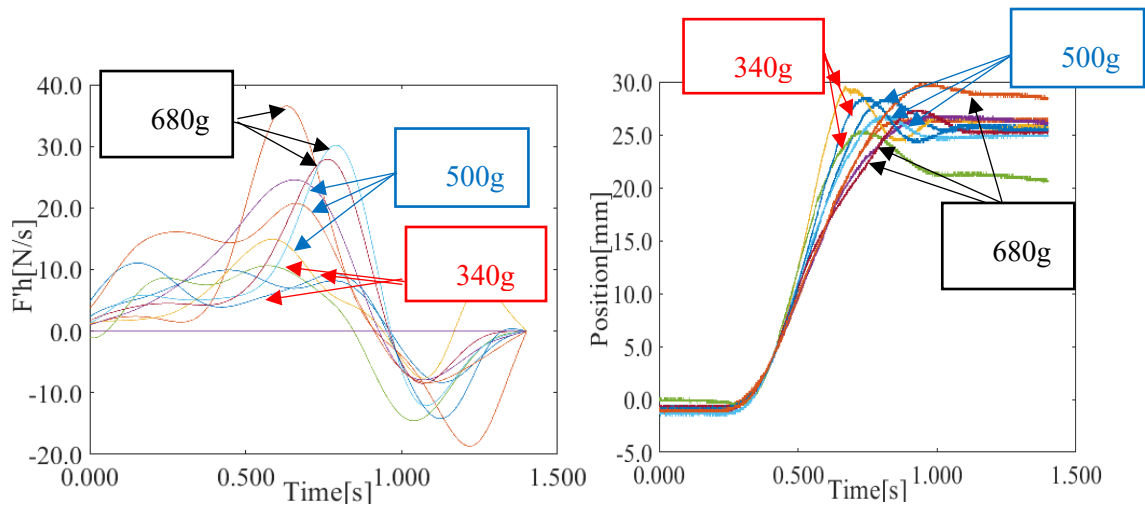


Fig.4.56 Subject H's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

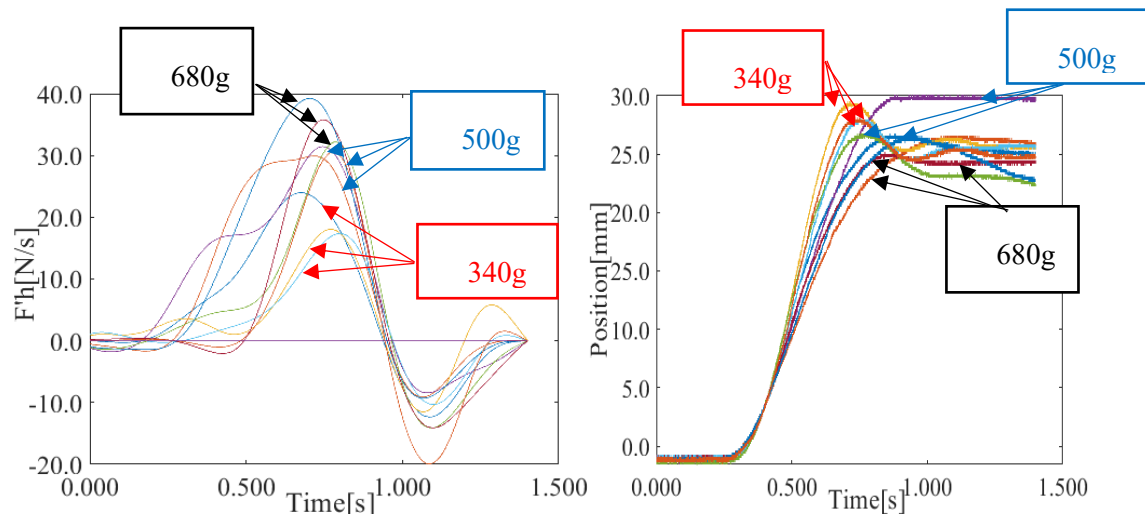


Fig.4.57 Subject H's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

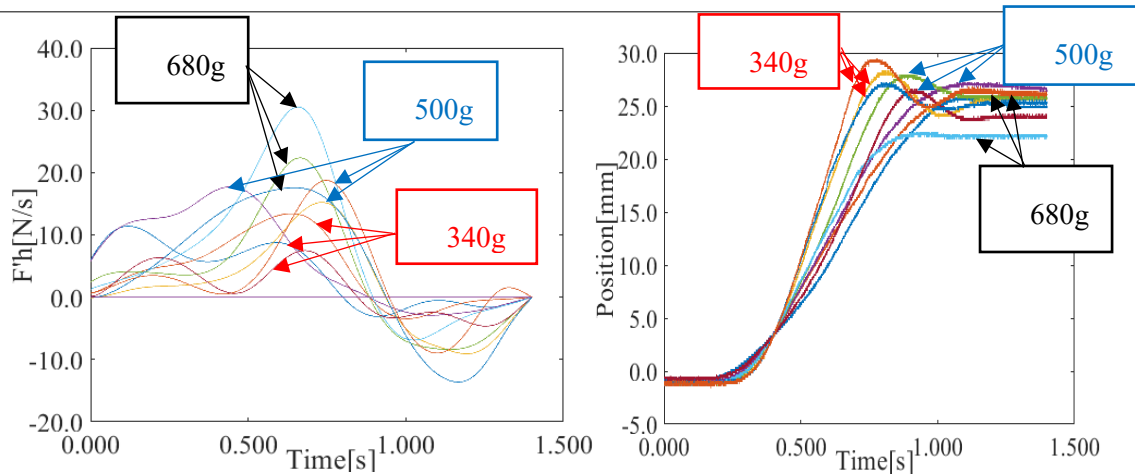


Fig.4.58 Subject I's time derivative waveform of lifting force and position at BPM30

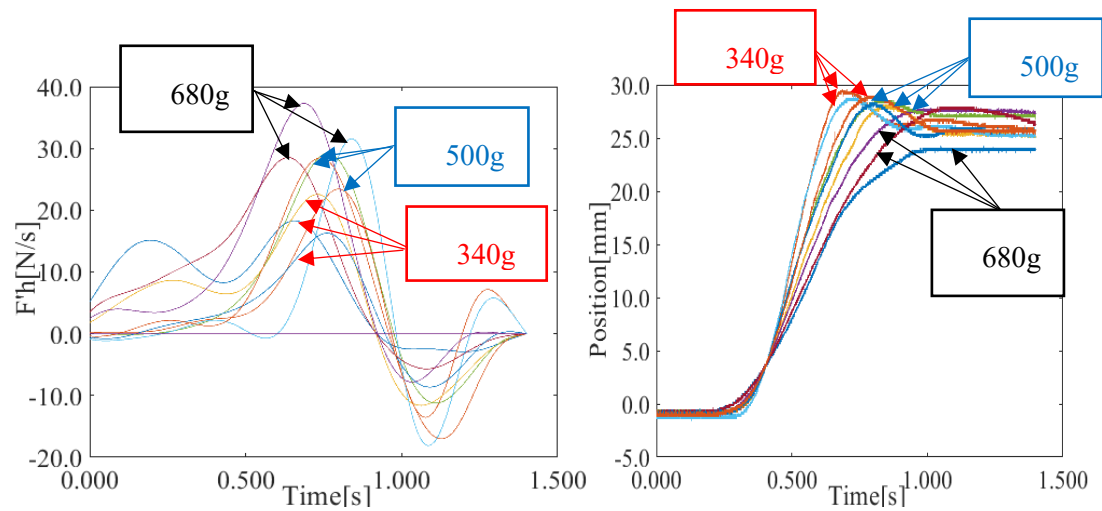


Fig.4.59 Subject I's time derivative waveform of lifting force and position at BPM60

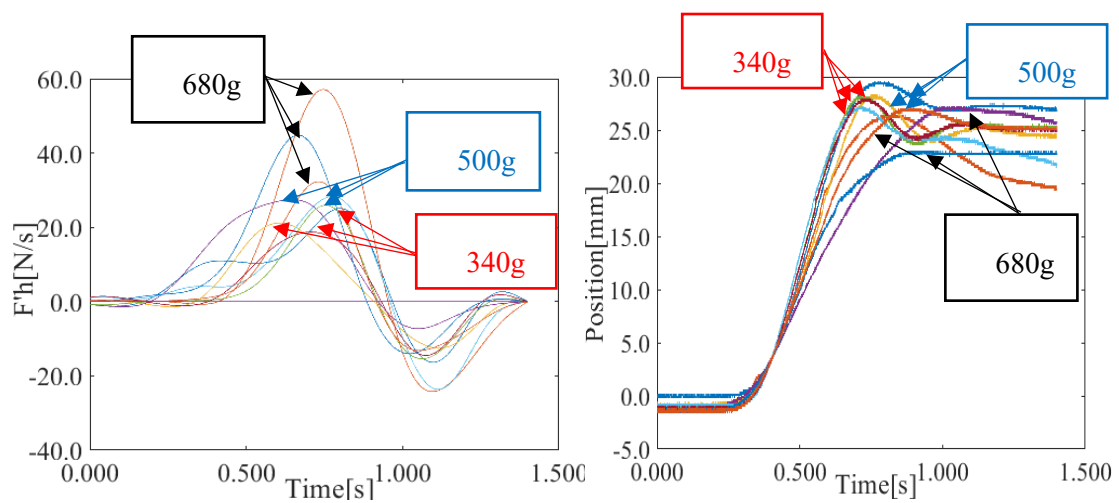


Fig.4.60 Subject I's time derivative waveform of lifting force and position at BPM90

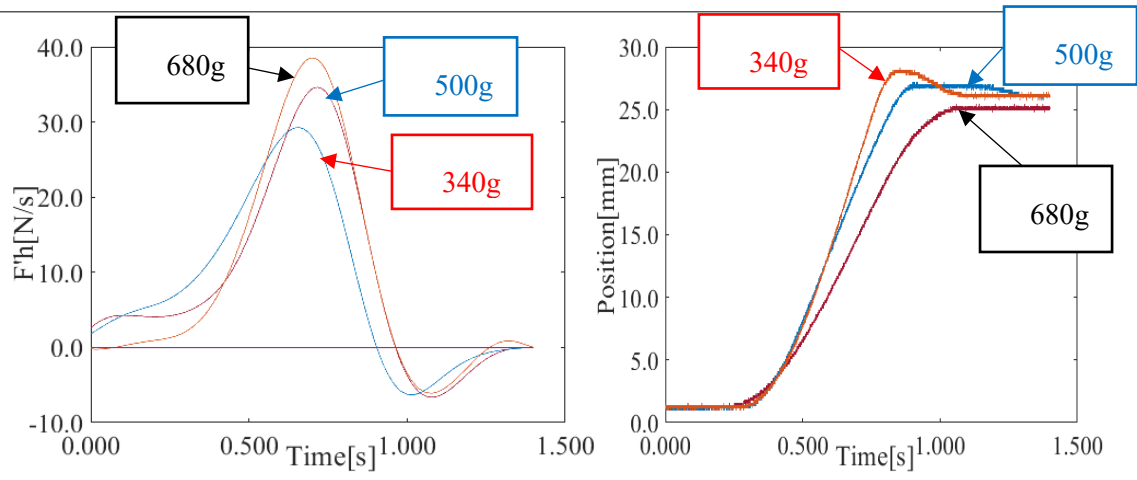


Fig.4.61 Time derivative waveform of own lifting force and position without BPM

4.5 考察

まず、全体の形容詞の平均値を見ると、重さと BPM は深く関わっていることがわかる。この実験は繰り返し持ち上げ操作の 680g から変化させない、500g,340g と 3 つの重さのパターンがあり、当然変化させないパターンは「重い」「束縛された」など多少の値はあるにしろ、それぞれの形容詞の値は 0 に近くなる。そのため、500g や 340g への質量変更では形容詞「軽い」「自由な」「驚きあり」などの数値は高くなりやすい。その中で、BPM を 3 つに分けることで、影響を見ることが本実験の目的だった。

実際に個別の形容詞の平均値グラフを見てみると、数値の高さが $BPM30 > BPM90 > BPM60$ の順で並んでいる形容詞が多いことがわかる。ここからわかることは、まず、BPM30 などのゆっくりにした場合、質量変更を感じやすいことである。ここで興味深いのは、実際には変化していないはずの「重い」や「束縛された」などの形容詞も BPM30 が一番数値が高い。つまり、重さを感じやすく、軽さを感じやすいということである。正確には重さを錯覚しやすくする。その理由は、重量知覚などの超短期的な記憶が時間と密接に関係しているからである。繰り返し持ち上げ操作をゆっくり行うことで、自分でも知らないうちに、その重さに体が慣れてしまう。そのため、急に質量が軽くなると、より驚きが大きくなる。逆に、質量が変化しないパターンなら、軽くなった時の驚きの印象が強すぎて、実際には変化していないが、重く感じてしまうということが考えられる。いずれにせよ、BPM30 などのゆっくりしたリズムが重さに作用したことは明白である。

次に BPM90 である。本来ならゆっくりした順とするならば BPM60 のはずが、このような並びが多く形容詞で確認された。その理由として考えられるのは、BPM が自然に近いのは BPM60 の時であるからと考えられる。実際に Fig. 4.61 より、BPM なしで自然に持ち上げた波形を見ると BPM60 に近い。このように、人間は普段自然に持ち上げる力やスピードがあり、それより遅く持ち上げたり速く持ち上げたりすると重さや驚きを感じやすくなると言える。例えば、安静時の人間の心臓の鼓動がだいたい BPM60

から 80 だと言われていることから、この数字に近いほど安心でき、重量知覚や驚きが小さくなることも少しは関係するのかもしれない。それぞれの BPM ごとに、BPM に関する有意差を見てみると、BPM30 と 60 の時「軽い」が、BPM30 と 90 の時「束縛された」に有意差が出た。今回の結果では、BPM30 と 60 の数値差の大きさほどは、BPM60 と 90 に差は見られなかったが、どちらとも BPM30 が深く関わっていることがわかる。

個々の形容詞の中で特徴的なものは、「安全な」「操作しづらい」「恐怖感のない」である。まず、「安全な」「操作しづらい」はどの BPM のどの質量変更でも満遍なく少し数値があった。これは、例えば質量変更しないパターンだから安全で操作しづらいのか、もしくは軽くなるパターンで軽くなったから安全なのか、軽くなったから操作しづらいのかということである。これは、謂わば個人のイメージの違いであり正解はなく、どちらの意味にも取れる可能性がある形容詞であると言える。また「恐怖感のない」は BPM に関する差異がほとんどなかった。これは、恐怖感と驚きとは意味が違って、驚きは質量変更に対する心情で BPM に大いに左右されるが、恐怖感の実験そのものに対する自身の危機感に近い心情で BPM にも左右されないと考えることができる。人によって、形容詞によって、いろいろな意味の解釈が考えられることがわかった。

最後に、被験者 9 人の BPM ごとの波形を調べると、持ち上げ力の時間微分波形では 680,500,340g の変化の違いがわかり、また、BPM によってその横幅が変化している。横幅の長さの順は BPM30>BPM60>BPM90 となっており、横軸は時間であるから BPM が遅いほど被験者は物体を長く持っていることがわかる。これは、メトロノームによってその BPM で同質量の物体の繰り返し持ち上げ試行を行っているためであると推測される。次に、位置の時間微分波形を見ると、340g が一番頂点までの立ち上がりが速く高く上げやすい、その次に 500,680g の順に立ち上がりが遅くなっていく。このように位置波形では、質量変更による変化の違いがわかるが、BPM による変化の違いは特に現れなかった。

第 5 章

結論

5.1 まとめ

本研究は、パワーアシストシステムの安全性や操作性の向上を目的とし、予想質量と実際に持ち上げた時の質量との差について、同質量を何回か持ち上げた後に質量変更することで、その時の心情を形容詞アンケートによって心理評価するものである。その結果、実験していく中で、重さと BPM に密接な関係があることがわかった。そしてそれらが、重量知覚と時間によるものであると考えた。また、BPM では、 $BPM30 > BPM90 > BPM60$ の並びの順に形容詞の数値が高いことがわかった。持ち上げ力の波形を見ても BPM30 は時間の横幅が特に長く、重量知覚をより感じていると考えられる。また、BPM が自然の波形が BPM60 に近かったため、BPM60 に近いほど安心でき、重量知覚や驚きが小さくなるかもしれないという一つの推測を立てることができた。今回の実験結果では、BPM30 と 60 の数値差の大きさほどは、BPM60 と 90 に差は見られなかったが、いずれにしても BPM30 のようなゆっくりとした時間で繰り返し持ち上げ操作を行うことで、重量知覚が強くなり、重さや驚きを感じやすくなることがわかった。

個々の形容詞アンケートでは「安全な」「操作しづらい」「恐怖感のない」などの形容詞が示すように、質量変更しないパターンだから安全で操作しづらいのか、もしくは軽くなるパターンで軽くなったから安全なのか、軽くなったから操作しづらいのか、実験そのものに対する自身の危機感に近いから恐怖感を感じるのかなど、個人によって様々な意味の解釈が存在することがわかった。このような操作性を問うアンケートなどでこれらの形容詞を使う場合、注意が必要であると言える。

5.2 今後の課題

この実験は形容詞でアンケートを取るため、個々の心情や体調に左右されやすい。そのため、被験者を増やすことが第一の課題である。また、今回は時間を考慮し 10 対 20 個の形容詞で実験を行ったが、形容詞の数を増やし、軽くなることの変化に加えて重くなる変化を加えることで、さらに重さと BPM についての関係がわかると予測される。

参考文献

- [1] 池浦良淳:「人間とロボットによる協調作業」, 人間中心型ロボティクス総合特集号, Vol.44, No.12, pp.682-687(2000).
- [2] 池浦良淳, 加藤寛之, 野口真平, 水谷一樹, 中村 久:「産業用パワーアシスト装置のインピーダンス制御」, 第10回ロボティクスシンポジウム予稿集, Vol.1, No.1, pp.191-196(2005).
- [3] 池浦良淳, 加藤寛之, 野口真平, 水谷一樹, 中村 久, 本田 朋寛:「接触操作を考慮した産業用パワーアシスト装置のインピーダンス制御」, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.72, No.714, pp.214-221(2006).
- [4] 小菅一弘:「仮想ツールダイナミクスに基づく人とロボットの協調作業」, 計測と制御, Vol.34, pp.303-306(1995).
- [5] 神吉厚之, 森川寛也, 横川隆一, 柴田 浩, 積際 徹:「人間とロボットの協調作業系におけるインピーダンス制御法を用いたパワーアシストシステム」, Proceedings of the 2005 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol.1, 1P1-N-065(1)- 1P1-N-065(2) (2005).
- [6] 鴻巣仁司, 荒木勇, 山田陽滋:「自動車組立作業支援装置スキルアシストの実用化」, 日本ロボット学会誌, Vol.22, pp.508-514(2004).
- [7] 阿部慶賀:「「重い」と思うことは印象評価を変えるのか-印象評価における重量刺激の主観量と物理量の影響-」, The Japanese Journal of Experimental Social Psychology, Vol.55, No.2, pp.161-170(2016).
- [8] Flanagan, J. R., & Belzner, M.A. Independence of perceptual and sensorimotor Predictions in the size-weight illusion. Nature Neuroscience, 3, 737-741(2000)

-
- [9] 田山忠行：「近年の時間知覚研究の諸問題とモデル」，北海道大学文学研究科紀要，Vol.155, pp107-142(2018).
- [10] 金森直希：「力覚インタフェースにおける操作感の主観評価」日本機械学会論文集 C 編, Vol.68, No.669, pp.1467-1473(2002).
- [11] Bui Minh, Nhat. : 「高出力パワーアシスト装置による物体運搬の重量知覚特性解析に関する研究」，三重大学平成 28 年度修士学位論文 (2016)
- [12] 多氣淳史：「物体持ち上げ操作における人の物体重量予測と操作特性との関係性に関する研究」，三重大学平成 30 年度修士学位論文 (2018)
- [13] 芹川聡：「質量変化を伴った摘み持ち上げ運動における人の特性解析」，三重大学平成 29 年度卒業論文 (2017)
- [14] 芹川 聡：「物体持ち上げ動作においてグリップの変位が重量知覚に与える影響に関する研究」，三重大学令和元年度修士学位論文 (2019)」
- [15] 行方優太：「パワーアシストにおける心理評価」，三重大学令和元年度卒業論文 (2019)

謝辞

本研究を進めるにあたり，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には研究に関する有益なご助言を頂き，深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には研究に関する有益なご助言を頂き，深く感謝致し，厚く御礼申し上げます。

また，実験のアドバイスなど多数のご教示，ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 堤成可助教に厚く御礼申し上げます。

また，澤井秀樹研究員には実験装置の製作や改善などをして頂き，深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また，藤原明子秘書には事務手続きを始め，研究しやすい環境をおつくり頂き，厚く御礼申し上げます。

そして，忙しい中で実験に協力して頂いた被験者の方々には貴重な時間を割いて頂き，深く感謝致します。