

OS1-1

パワーアシストと基礎体力維持に関する基礎研究

Fundamental study on power assist technology and basic physical maintenance

○ 安藤翔太 (北大) 田中孝之 (北大) 奈良博之 (北大) 瀧澤一騎 (北大) 金子俊一 (北大)

Shota ANDO, Hokkaido University
 Takayuki TANAKA, Hokkaido University
 Hiroyuki NARA, Hokkaido University
 Kazuki TAKIZAWA, Hokkaido University
 Shun'ichi KANEKO, Hokkaido University

Abstract: Power assist technology has been developed to study for handicapped people or heavy lifting worker. And today, power assist technology is being established. However, the study is not gone that its impact on the muscles due to prolonged use, for example, studies such as the decline of muscle strength. In this study, observed changes in the muscle when using a power assist in long-term, and develop power assist technology that unabated strength.

Key Words: Changes in muscle strength, Power assist, Training effect, Skill evaluation, Biceps brachii muscle

1. はじめに

2011年現在、日本は超高齢社会と呼ばれる状況にあり、2015年には人口の4人に1人が65歳以上になると見込まれている⁽¹⁾。そのため、将来の労働者人口の減少や社会保障費の増加が懸念され、高齢者に社会参画を可能な限り延長することが求められている。本研究室ではこの要求にテクノロジーの観点から答えるべく、パワーアシスト技術を研究開発してきた。これまではパワーアシストの短期使用による筋力や作業効率のサポートを主な目標として研究開発を進めてきたが、次の段階としてパワーアシストの長期使用による筋の変化、特に筋の衰えを考慮し、人体に悪影響を及ぼさない適切なアシストの設計を新たな研究目標として研究開発していく。

そこで本研究の目的は、人体に悪影響を及ぼさない適切なパワーアシスト技術を開発することである。本研究室で研究開発を行っているパワーアシスト技術を用いて、人に対して長期に渡りパワーアシストを行った場合の筋力変化及びスキル変化を観察し、パワーアシストに対する慣れを検証した。

2. 実験概要

本実験は本研究が始まって最初の実験であるので、まずは比較的大きく太い筋でありその挙動を監視しやすい利き腕の上腕二頭筋において、パワーアシストによる筋への影響を観察するような内容で実験を進めた。18名の被験者を公募で集め、6週間に渡るパワーアシスト実験を開始した。被験者を3つのグループに分け、それぞれ6週間に渡りパワーアシストを受けて作業を行うグループ、パワーアシストを受けずに作業を行うグループ、作業を行わないグループとし、実験期間を通しての筋力の変化、スキルの変化、アシストに対する慣れを調べた。

今後の予定としては本実験を基にしてさらに実験のバリエーションを増やし、人体に悪影響を及ぼさないパワーアシスト技術を開発することがある。

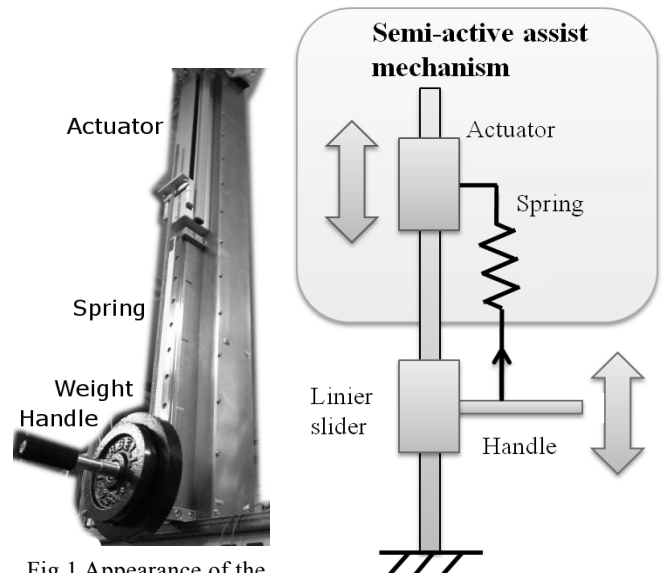


Fig.1 Appearance of the power assist tower

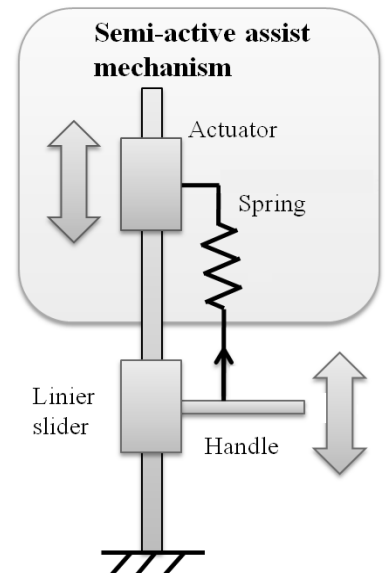


Fig.2 Summary of the power assist tower

3. 実験装置

3-1 パワーアシストタワー

今回の実験ではパワーアシスト装置として、パワーアシストタワーを用いた。外観を図1、概略図を図2に示す。

本研究はこのパワーアシストタワーの設計及び動作に関するものではないので、構造の詳しい解説、及び動作原理などは省略し、簡単な説明のみを記述する。このパワーアシストタワーについて詳しい解説を求めるのであれば、参考文献(2)を参照されたい。

このパワーアシストタワーは、ハンドル部を鉛直方向に上げ下げする作業をアクチュエーターとスプリングによりアシストするものである。ハンドル部には位置センサと歪みセンサが内蔵されており、位置情報とハンドルにかかる力の情報をリアルタイムでPCに入力し、アクチュエーターを制御する。また、パワーアシストタワーは作業アシスト率を自由に設定できる。

- ①Display ②Weight
- ③Power Assist Tower
- ④Subject ⑤ForceGage

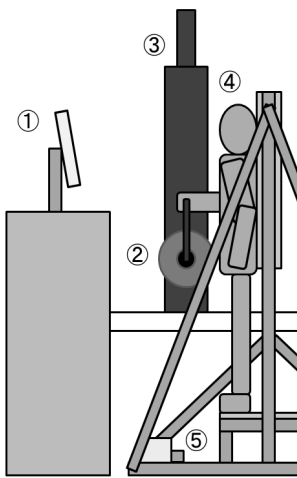


Fig.3 Summary of the fixed base and the experimental system



Fig.4 Figure of the fixed subjects

3-2 被験者固定台について

本実験では、図 3、図 4 に示すような被験者固定台を用い、実験で行う作業を上腕二頭筋を主として使うような運動とした。被験者は上体を 2 本のベルトにより固定され、さらに肘が背面の板から浮かないように肘関節の上をベルトで固定されている。

また、この被験者固定台底部にはデジタルフォースゲージが設置されている。このデジタルフォースゲージにより被験者の上腕二頭筋を用いた肘の屈曲運動における最大筋発揮力を測定した。

4. 実験方法

4-1 実験の流れ

まず、被験者を 6 週間に渡りパワーアシストを受けて作業を行うグループ、パワーアシストを受けずに作業を行うグループ、作業を行わないグループの 3 つのグループに分けた。ここからはそれぞれのグループを A、B、C と表記する。実験手順、実験項目及び該当グループを表 1 に示した。A、B の被験者は週に 3 回この手順の実験を行い、C の被験者は週に 1 回この手順の実験を行う。表 1 中の最大筋発揮力測定、メイン作業については次項から説明する。

次に、上記実験手順で 6 週間経過した後、パワーアシストの有無を交差させたクロスバリデーション実験を行い、パワーアシストに対する慣れを検証した。

4-2 最大筋発揮力測定

本実験では主に上腕二頭筋の筋力変化を観察した。図 3、図 4 では被験者はダンベルに繋がれたグリップを把持しているが、被験者固定台に設置したデジタルフォースゲージに繋がれたグリップに持ち替え、引き上げることにより肘屈曲角 90°時の上腕二頭筋による肘の上向き屈曲運動時の最大筋発揮力を測定した。なお、本実験での最大筋発揮力測定時間は 5 秒間とした⁽³⁾。

Table 1 Experimental procedure

Step	Experimental item	Group
1	Maximum muscle force measurement	A, B, C
2	Skill measurement	A, B, C
3	Main tasks	A, B
4	Skill measurement	A, B

4-3 スキル測定

スキル測定では、被験者のパワーアシストタワーの操作力を測定した。半周期ごとに 5 種類の振幅をランダムに与えた正弦波を組み合わせ、鉛直方向に動く目標値としてディスプレイに描写し、さらにパワーアシストタワーのハンドル位置も合わせて描写して被験者に示し、目標値を追従するように指示を出した。この目標値と被験者の操作するハンドルの位置との誤差の時間累積を操作誤差とし、スキルの指標とした。測定時間は 10 秒間とした。

4-4 メイン作業

メイン作業は被験者に単純な作業により負荷を与え、グループ A と B の筋変化や作業に対する慣れの違いを見ることに目的がある。メイン作業も前項『4-3 スキル測定』と同様、目標値をディスプレイに描写し、それに追従するようにパワーアシストタワーのハンドルを操作する。目標値は周期 5 秒の正弦波で示し、3 回の上げ下げを 2 分間のインターバルを挟み 3 回行った。

4-5 実験で用いるウェイトとアシスト率

本実験で使用するウェイトは実験装置の制約上 1.25kg 刻みであるが、被験者の手先にかかる力がメイン作業時は最大筋発揮力の 80%、スキル測定時は最大筋発揮力の 50% に最も近くなるようなものを用いた。これはメイン作業を筋力トレーニングに近づけるため、スキル測定は被験者の疲れを考慮した結果の重さである⁽⁴⁾。

各被験者のウェイトは実験初日の最大筋力測定で決定し前半の実験を進め、実験開始から 3 週間後に行う最大筋力測定の数値により実験後半のウェイトを決定して後半の実験を進めた。

次にグループ B においては、スキル測定及びメイン作業ともにアシスト機能を用いて実験を進行するが、アシスト率は実験を通して 20%で固定した。

4-6 実験中の被験者の手先にかかる力積

実験中の被験者手先にかかる力の力積をモニターすることにより、上腕二頭筋の消費したエネルギーを再現した。力積は、筋が力を与える物体に対し仕事を行わずとも力さえ与えれば増加するため、固い不動な壁を押す動作のようなアイソメトリックな運動時の筋の消費エネルギーの挙動をも再現でき、消費エネルギーの指標として用いることができる。

4-7 クロスバリデーション実験

6 週間に渡るパワーアシスト実験の終了後に、グループ A と B の被験者に対してパワーアシストの有無を交差させたクロスバリデーション実験を行った。手先にかかる力の違いによるスキルの変化を無くすため、グループ A は最大筋発揮力の 64%のウェイトで、グループ B は最大筋発揮力の 100%のウェイトを用いアシスト率 20%のアシストを受けてスキル測定を行った。測定時間は 5 秒間である。

5. 実験結果

最大筋発揮力の時間変化を、グループごとに次項の図に示す。グループ A が図 5、グループ B が図 6、グループ C が図 7 である。なお、これらのグラフは個々の被験者間で比較するため、メイン作業開始日に測定した最大筋発揮力で正規化した。次に、図 5、図 6、図 7 のそれぞれ系列において最小二乗法を用いて直線近似し、傾きとグループごとの平均を求めた。その結果を表 2 にまとめた。

次に、実験中に計測した被験者の手先にかかる力の力積の累積を横軸に、表 2 にある最大筋発揮力の直線近時の傾きを縦軸にとり、トレーニング効果を表したグラフを図 8 に示した。

次に各被験者のスキル測定の結果を、グループ A を図 9、グループ B を図 10、グループ C を図 11 に示した。これらの図の縦軸は追従誤差を示しているのので、値の小さいほどに操作力を持っていることになる。またそれらを最小二乗法を用いて直線近似し、その傾きを表 2 にまとめた。

最後に、クロスバリデーション実験の実験結果を図 12 に示した。系列はグループごとにまとめた。クロスバリデーション実験での目標追従誤差の測定結果は、各被験者で比較するため、各被験者の最後の実験時のメイン作業前に行うスキル測定の値で正規化を行った。

6. おわりに

本講演論文原稿では、6 週間に渡りパワーアシストを用いて作業を行った場合とパワーアシストを用いずに作業を行った場合、作業を行わなかった場合の上腕二頭筋の筋力変化及び作業者が発揮する力の力積によるトレーニング効果、装置操作スキル、パワーアシストに対する慣れを検証するためのクロスバリデーション実験について報告した。

図 5、図 6、図 7 の実験結果は全てメイン作業開始日に測定した最大筋発揮力で正規化しているが、それらの直線近時の傾きを示した表 2 の結果及び図 8 から、パワーアシストを用いて作業を行ったグループ A の筋力はパワーアシストを用いずに作業を行ったグループ B のそれに比べ増加していないことが分かった。グループ B の作業ウェイトは最大筋発揮力の 80% であるのに対し、グループ A の手先にかかるウェイトは最大筋発揮力の 80% に 20% のパワーアシストを受け正味 64% となり、軽いウェイトでの作業となったため相対的にトレーニング効果が無かったからであると考えられる。また図 8 及び表 2 から、作業を行わなかったグループ C においても、多少の筋力増加傾向が見られたことが分かった。これはスキル測定により多少の運動をしていることと、最大筋発揮力の測定時に高負荷なアイソメトリック運動を行っているためであると考えられる。ここでグループ C は作業を行わないグループであるにもかかわらず筋力の増加がみられるため、メイン作業のみによる筋力の変化を調べたい場合、最大筋発揮力測定時の運動による筋力の変化も考慮しなくてはならないことが分かった。そこで今後の実験では、作業を行わないグループ C においてもグループ A、B 同様の実験回数が必要になると考える。

図 9、図 10、図 11 はメイン作業を行う前、最大筋発揮力の測定後に測定したスキル指標をグラフに表したものであるが、前半ほどかなりのバラつきが見られた。しかし表 2 から、A-1、A-5、C-1 を除いた被験者に対しては実験を重ねるにつれ追従誤差の減少、すなわちスキルの向上が見受けられた。

図 12 はメイン作業を週 3 回 6 週間に渡り行い、その後グループ A、B に対してパワーアシストの有無を交差させ

Table 2 Inclination of Normalized Muscle Power and Inclination of Skill Error

Subject No.	Inclination of Normalized Muscle[1/day]	Inclination of Skill Error[mm/tiems]
A-1	0.000481	0.146
A-2	0.00176	-0.400
A-3	0.00717	-0.025
A-4	0.00491	-0.667
A-5	0.00896	0.154
A-6	0.00634	-0.310
Average	0.00494	-0.18348
B-1	0.0216	-0.151
B-2	0.0101	-0.459
B-3	0.00547	-0.701
B-4	0.00911	-0.296
B-5	0.00589	-0.312
B-6	0.00802	-0.545
Average	0.0100	-0.4106
C-1	0.0111	0.293
C-2	0.00307	-0.657
C-3	0.00444	-0.473
C-4	0.000736	-0.105
C-5	0.000246	-1.204
C-6	0.00277	-1.199
Average	0.00373	-0.55739

てスキル測定を行い比較した結果であるが、各被験者固有の特性を無くし、グループごとの比較を行うために最後のメイン作業前のスキル測定結果で正規化を行った。図 12 から、これまでパワーアシストを使用したことのなかったグループ B が突然パワーアシストを使用した時、これまでパワーアシストを使用してきたグループ A に比べると追従誤差は大きいことが分かった。このことからパワーアシストを効率よく利用するには多少の慣れが必要であると考えられるが、パワーアシストを使用せず両グループがスキル測定を行った結果でも、グループ B の追従誤差はグループ A に比べ大きかった。これはグループ B が使用したウェイトがグループ A に比べて大きいことが原因ではないかと考える。このクロスバリデーション実験では両グループ異なった割合のウェイトを使用した。手先にかかるウェイトが同じ割合となるように設定し実験を行う必要があると考える。

謝 辞

本研究は JST 研究成果展開事業戦略的イノベーション創出推進プログラム (課題名「高齢社会での社会参加支援のための軽労化技術の研究開発と評価システムの構築」) の支援を受けて実施した。ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) 総務省, 統計局ホームページ
http://www.stat.go.jp/data/topics/158-1.htm
- (2) Rosendo Andre Luis, Design of controller for a Semi-Active Assist Mechanism considering Low-Powered Actuator Limitation, ROBOMECH2010, pp.1A1-F25, 2010.
- (3) Helen J.Hislop, Jacqueline Montgomery, 新・徒手筋力検査法, 株式会社共同医書出版社, 2009.
- (4) 石井直方, レジスタントトレーニング, 有限会社ブックハウスエイチディ, 1999.

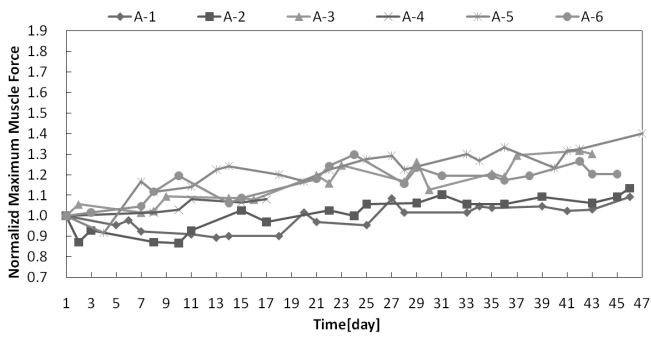


Fig.5 Changes in muscle strength at group A

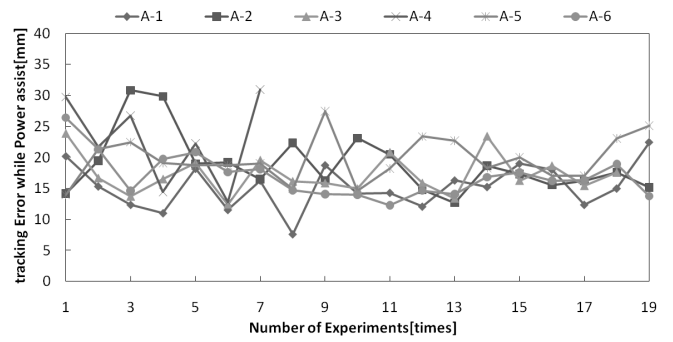


Fig.9 Changes in tracking error at group A

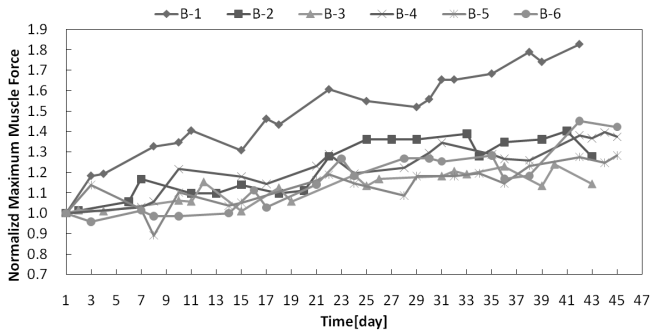


Fig.6 Changes in muscle strength at group B

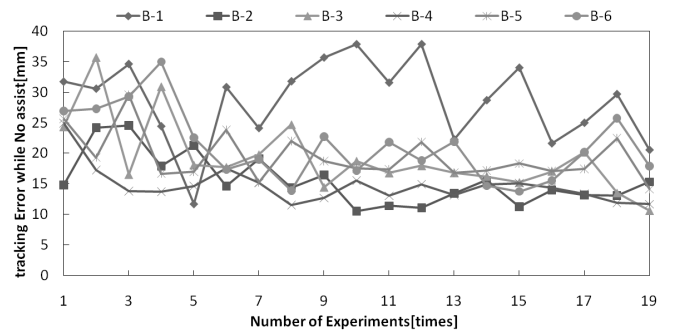


Fig.10 Changes in tracking error at group B

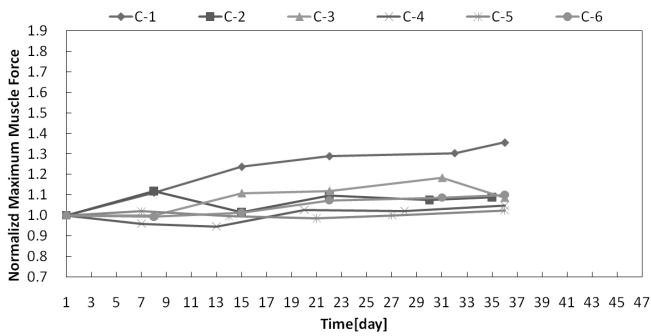


Fig.7 Changes in muscle strength at group C

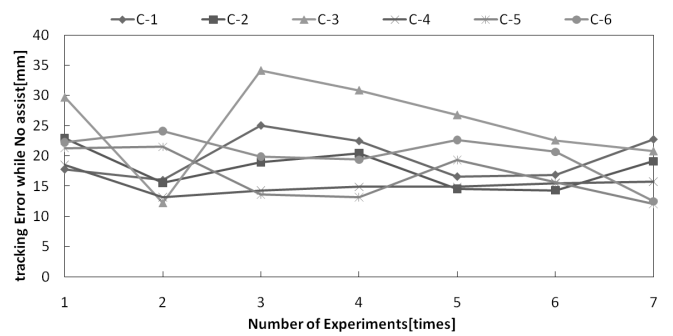


Fig.11 Changes in tracking error at group C

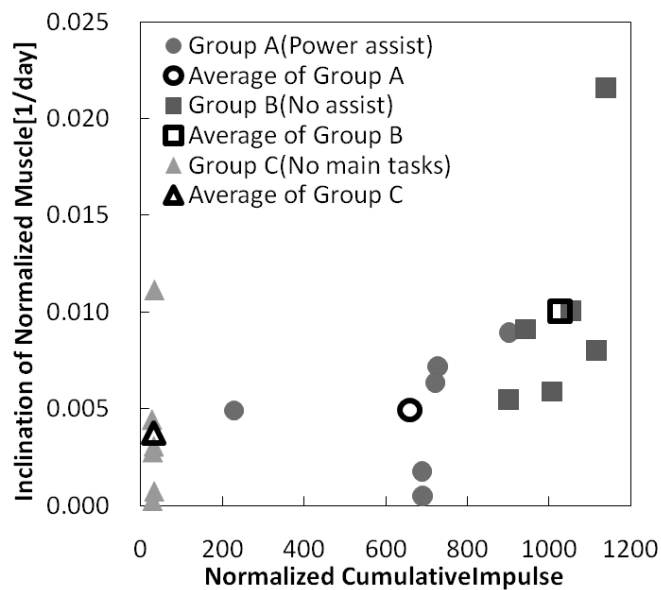


Fig.8 Training effect

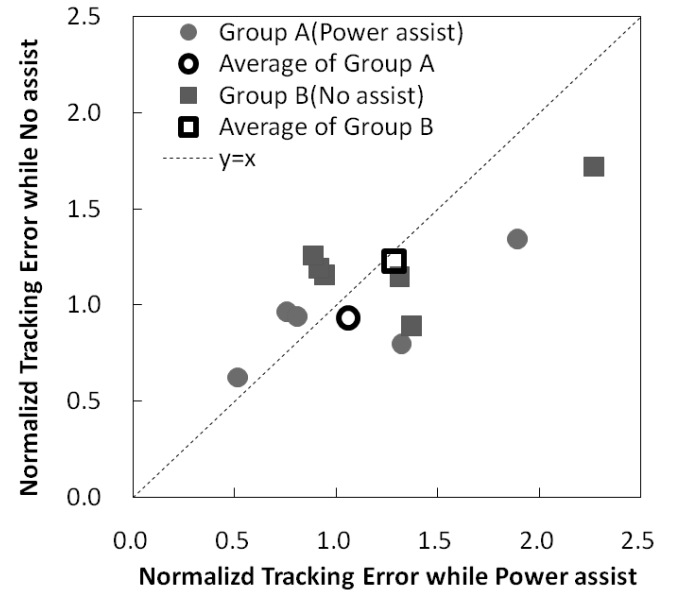


Fig.12 Tracking error in cross validation experiments