

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 17日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700687

研究課題名（和文） 反復作業における手指の発揮力の許容限界と作業負担評価法に関する研究

研究課題名（英文） Measurement and evaluation of acceptable force limits in repetitive manual task

研究代表者

小山 秀紀（OYAMA HIDEKI）

早稲田大学・人間科学学術院・助手

研究者番号：50339743

研究成果の概要（和文）：本研究では、反復作業における筋骨格系障害の予防策を検討するために、対象者が無理なく発揮できる力に着目し、反復回数と押し方向の違いが拇指の発揮力に及ぼす影響について力覚センサシステムを用いて明らかにした。また、生体力学的解析により拇指の関節間にかかる負荷を明らかにした。これらの分析結果に基づき、拇指発揮力の許容限界を予測して対象者にフィードバック可能な作業負担評価システムについて検討した。

研究成果の概要（英文）：With the aim of examining a preventive plan for musculoskeletal disorders caused by repetitive manual tasks, the effects of repetition frequency and work direction on the force of thumb push were investigated. The loads on each joint in the thumb were analyzed from the viewpoint of biomechanics. A prototype system for evaluating acceptable force limits in manual tasks was developed on the basis of the analysis results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23年度	600,000	180,000	780,000
22年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，応用健康科学

キーワード：筋骨格系障害予防，反復作業，発揮力許容限界，力覚センサシステム

1. 研究開始当初の背景

強い力の発揮や不適切な姿勢がない場合でも上肢の筋骨格系障害が生じ得る。中でも製造業における指の押す・摘む・捻ることを

要する長時間の反復性の組立作業は、上肢の健康障害を増強させる低強度の作業である。このような反復作業では、皮膚・関節・腱・靭帯などの痛みが想定されるが、いずれも主

観的な訴えであり、客観的検査でそのような所見を確認することは困難とされている。その背景には、実現場で発揮力を定量的に評価する手法が確立されていないことが挙げられる。痛みと作業負荷の定量化が困難であるため、現在では反復回数・力・肢位・振動などが発症に影響することを質的に明らかにする段階にとどまっている。手根管症候群や腱鞘炎の発症するリスク要因には、痛みと同様に、動作の反復・力・肢位・振動が挙げられるが、量的な限界値を決定するほどの疫学データは見あたらず、定量的な評価基準の実用化には至っていない。また、従来の反復作業の評価と計画に関連する強度データは、最大随意労作 (Maximum Voluntary Exertion: MVE) を計測し、強度能力をパーセンテージで補正した値であり、人が発揮できる最大限の値を基礎としたものである。こうした方法に代わり、発揮力の許容限界 (Maximum Acceptable Limit: MAL) に着目した研究がある[1][2][3]。MAL とは、疲れ・痛み・怪我の危険がないように、対象者が無理なく発揮できる力と定義されている。MAL を基礎とした計測・評価方法は、将来的に産業現場における健康リスクを軽減するための客観的評価方法が開発されるまでの代替手段として、現実的な方法と考えられる。しかしながら、MAL は、痛みや怪我をしないという判断が対象者の主観に依存するため信頼性の点で課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究では、反復作業における拇指の発揮力の許容限界に着目し、押し力と作業要因の効果を明らかにする。また、MAL を補う方法として、生体力学的な観点から拇指の関節間にかかる負荷を論理的に求める。最後に拇指の発揮力の許容限界を評価するシステムについて検討する。

3. 研究の方法

(1) 拇指発揮力の許容限界に関する検討

成人男性 10 名を対象に、繰り返し作業時の拇指の押し力を計測した。押し力は対象者自身が無理なく発揮できる力で一定の頻度で調節した。この作業を 5~10 分間繰り返して行い、拇指押し力を連続的に測定した。実験要因は反復回数と作業方向の 2 要因とした。各要因の水準は、反復回数を 1 分間あたり 1 回・3 回・5 回の 3 水準、作業方向を下方向・前方向・上方向に押し込む 3 水準とした。押し力の測定装置には、6 軸力覚センサ (IFS100M40A50-I63、ニッタ製)、レシーバボード (PCI-2184T、ニッタ製)、及びパーソナルコンピュータから構成される力覚センサシステムを用いた。環境条件は、力覚センサの上面にアルミ板を取りつけ、壁面の下方向、前方向、上方向に配置した (図 1、図 2)。統計解析では、IBM SPSS Ver. 18.0 を用いて、反復回数と作業方向を要因とする二元配置の分散分析を行った。

また、上記の検討結果から得られた測定値を用いて、発揮力の許容限界を推定した。ここでは、作業方向別に拇指の押し力を従属変数、反復回数を独立変数として、回帰分析を行った。

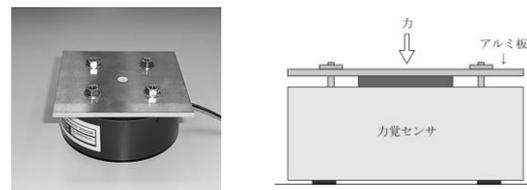


図 1 力覚センサ



図 2 測定系の概略図

(2) 拇指の関節間負荷の生体力学的解析

拇指の IP 関節（指節間関節）と MP 関節（手指節骨関節）が伸展した状態で物を押す場面を想定して、押し作業によって拇指の関節間にかかる負荷を生体力学的観点から分析した。

(3) 作業負担評価システムの検討

反復作業における拇指発揮力の許容限界を評価し、作業改善のフィードバックを行う作業負担評価システムについて検討した。

4. 研究成果

(1) 反復回数と作業方向の影響

反復回数と作業方向の違いが拇指の押し力に及ぼす影響に関する分散分析の結果から、反復回数と作業方向の主効果がそれぞれ有意であった。1 分間辺りの反復回数の頻度が多くなるほど、押し力は低下し、下方向、上方向、前方向の順で押し力は低下する傾向にあることがわかった。

回帰分析からは、対数近似による図 3 の結果が得られ、作業方向と反復回数を変数とすることにより、無理なく発揮可能な拇指の押し力を予測・推定できることがわかった。

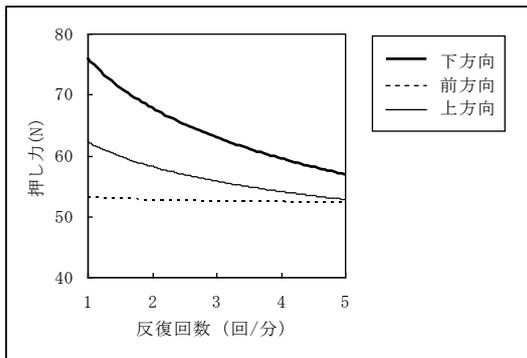
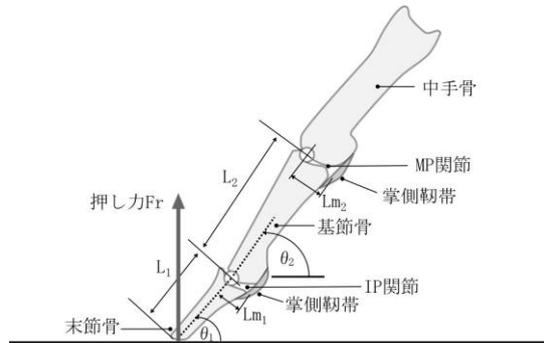


図 3 反復回数と作業方向による拇指の押し力

(2) 拇指の関節間負荷の推定

拇指の生体力学モデルを図 4 に示す。今回のような作業では、拇指にかかった力によるモーメントと力が各関節及び手掌靭帯にかかるものと考え、以下の手順でそれぞれの負荷を算出した。



Fr: 押し力 (N)
 L₁: IP 関節回転中心までの長さ (cm)
 L₂: IP 関節回転中心から MP 関節回転中心までの長さ (cm)
 L_{m1}, L_{m2}: IP 関節と MP 関節の回転中心から掌側靭帯までの距離 (cm)
 θ₁, θ₂: 押し面に対する末節骨と基節骨の傾斜 (度)

図 4 拇指の生体力学モデル

まず、押し力 Fr による IP 関節と MP 関節のモーメント M₁、M₂ と靭帯張力 T₁、T₂ は、

$$M_1 = Fr \times L_1 \times \cos \theta_1$$

$$M_2 = Fr \times \{L_1 \times \cos \theta_1 + L_2 \times \cos \theta_2\}$$

$$T_1 = M_1 / L_{m1} = Fr \times (L_1 / L_{m1}) \times \cos \theta_1$$

$$T_2 = Fr \times \{(L_1 / L_{m2}) \times \cos \theta_1 + (L_2 / L_{m2}) \times \cos \theta_2\}$$

となる。次に、各関節の回転中心にかかる力 F₁、F₂ は、

$$F_1 = T_1 + Fr \times \sin \theta_1$$

$$F_2 = T_2 + Fr \times \sin \theta_2$$

となる。ここで、実測による押し力の最大値 Fr=73.6N、拇指肢位の θ₁=45° と θ₂=60°、基節骨の長さ L₂(3cm) を用いて計算すると、

$$L_1 = 0.6 \times L_2 = 1.8 \text{ cm}$$

$$L_2 = 3 \text{ cm}$$

$$L_{m1} = 0.28 \times L_2 \times 0.75 = 0.63 \text{ cm}$$

$$L_{m2} = 0.39 \times L_2 \times 0.75 = 0.88 \text{ cm}$$

となり、各靭帯の張力 T₁、T₂ と関節間の力 F₁、F₂ は以下ようになる。

$$T_1 = 73.6 \times (1.8 / 0.63) \times \cos 45^\circ = 148.7 \text{ N}$$

$$T_2 = 73.6 \times \{(1.8 / 0.88) \times \cos 45^\circ + (3 / 0.88) \times \cos 60^\circ\} = 231.9 \text{ N}$$

$$F_1 = 148.7 + 73.6 \times \sin 45^\circ = 200.7 \text{ N}$$

$$F_2 = 231.9 + 73.6 \times \sin 60^\circ = 295.6 \text{ N}$$

以上の計算値より、IP 関節には押し力の約 2 倍の張力と約 3 倍の力、MP 関節には約 3 倍

の張力と約4倍の力がかかることがわかった。同様の手順で、押し面に対する拇指の肢位を $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ まで変化させた場合の関節間負荷を計算したところ、図5の結果が得られた。押し面に対して、拇指が水平になるにつれて関節間の負荷は増大することがわかり、拇指の肢位によっても関節間の負荷は影響を受けることが考えられた。

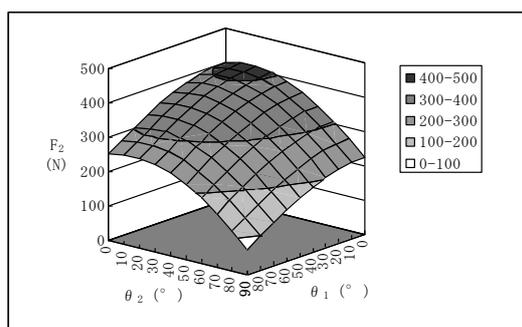


図5 拇指の肢位によるMP関節間の負荷推定

(3) 作業負担評価システムの考案

産業現場で簡便に手指の発揮力を計測することができ、対象者が無理なく発揮可能な力の許容限界を視覚フィードバックするための携帯型ハンド・デバイスについて試作検討した。本デバイスには、幅14mm・長さ205mm・厚さ0.208mmの薄いフィルム状の感圧センサシート (FlexiForce ボタンセンサ、ニッタ製) が手袋拇指部に内包されており、A/D変換器とUSBケーブルを介して、ノートPCに力データが記録される(図6)。リアルタイムでの計測が可能であり、その計測結果はディスプレイ上に視覚呈示される。本研究で示した作業方向と反復回数を変数とする発揮力の許容限界の予測と生体力学モデルによる関節間負荷を推定する演算プログラムを本デバイスに実装することにより、対象者が普段行っている作業での発揮力と許容限界値を比較しながら体感することができるため、現場での保健指導等のツールとして役立てることが期待できる。

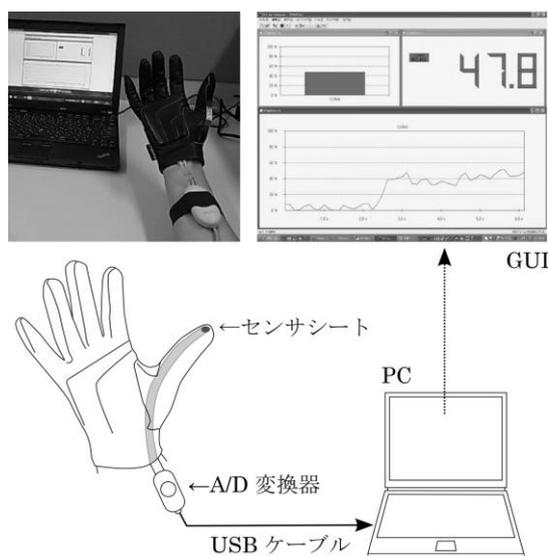


図6 携帯型ハンド・デバイス

参考文献

- [1] Johnson H: Strength Capabilities and Subjective Limits for Repetitive Manual Insertion Tasks. Master thesis. 2001.
- [2] Nussbaum MA, Johnson H: Determination and evaluation of acceptable force limits in single-digit tasks. Human Factors 44(4); 545-556, 2002.
- [3] Johnson HE, Nussbaum MA: Strength capabilities and subjective limits in repetitive manual exertions: task and hand dominance effects. AIHA Journal 64; 763-770, 2003.

謝辞：本研究に際しては、首都大学東京システムデザイン学部・教授の瀬尾明彦先生、公益財団法人労働科学研究所・主任研究員の鈴木一弥先生に貴重なご助言をいただいた。ここに記して感謝致します。

5. 研究組織

(1) 研究代表者

小山 秀紀 (OYAMA HIDEKI)
早稲田大学・人間科学学術院・助手
研究者番号：50339743