

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 6 月 6 日現在

機関番号：11201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700572

研究課題名（和文） 多関節複合動作における筋力発揮特性の解明と残存運動機能に基づく適合支援技術の確立

研究課題名（英文） Development of an assistive technology based on individual body functions

研究代表者

佐々木 誠 (SASAKI MAKOTO)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号：80404119

研究成果の概要（和文）：

本研究では、多関節複合動作中の最大関節トルクを計測するために、シートと手先力計測装置の位置・姿勢を相対的かつ連続的にコンピュータ制御することにより、等速性の関節運動や手先の円運動など、多関節上肢運動を生成可能な実験装置を開発した。また、多関節複合動作時の最大関節トルク特性を逆動力学的に算出することで、二関節筋の影響を考慮に入れた各関節の筋力発揮特性について基礎的な検討を行った。さらに、残存運動機能に基づく適合支援技術の具体的な適用例として、手動車いすの適合問題を取り上げ、関節トルク、筋張力、筋消費エネルギー、酸素摂取量、唾液アミラーゼ活性などの各指標を用いて、シート高さや走行抵抗の違いによる適合性の良し悪しを定量的に解析した。

研究成果の概要（英文）：

To quantify the maximum joint torque of the upper limb during multi-joint movement, a measurement system was developed that can generate multi-joint movements resembling those in daily life motion. The maximum joint torque characteristics of the upper limb, which has seven degrees of freedom, were calculated from upper limb movement and hand force using inverse dynamics equations. To assess practical application of the proposed methods, adaptability between the user and the wheelchair was evaluated using indices of physical load, joint torque, muscular tension, energy consumption, oxygen uptake, and salivary amylase activity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：福祉用具・支援機器、適合支援技術、車いす

1. 研究開始当初の背景

高齢者や障害者に対して、より良い日常生活・リハビリ訓練を提供するためには、加齢による身体機能の低下や疾患・障害の度合いを直接反映した残存運動機能の厳密な評価手法の開発と、個々人に適した機器・環境開発やリハビリ訓練を実現するための設計・評価指標の確立が不可欠である。とりわけ、機器・環境と頻繁に接触し、作業する手の操作能力（力の発揮能力）や上肢の姿勢安定性に関する評価技術は、“人に優しいものづくり”のための必須技術として期待され、NEDO 技術戦略マップ 2009 人間生活技術分野の重要課題の一つとしても取り上げられている。

独立行政法人製品評価技術基盤機構では、人間特性のデータベース化のため、対象物を押す力と引く力の最大値を計測し、手先力発揮能力に対する加齢の影響を大規模にわたり調査している。しかしながら、手先力発揮能力は、筋骨格系の構造上、上肢姿勢と力を発揮する方向に応じて異なるため、事前に決められたある上肢姿勢での押す力と引く力の計測・評価だけでは、人間の特性を十分に把握することができず、機器・環境開発やリハビリ訓練への応用は困難といえる。また、上肢の2次元筋骨格モデルを用いて、上肢姿勢と力の発揮能力の関係を解析した研究や筋の力学パラメータを同定した研究はいくつか散見されるが、3次元筋骨格モデルの複雑さから、個々人の残存運動機能を有するモデル開発は挑戦的課題の一つとして捉えられ、日常生活動作の基本である3次元上肢姿勢と力の発揮能力の関係については十分に解明されていない。

このような学術的背景に対して、本研究者は、ロボット工学における可操作性の概念を人間上肢に拡張し、実測した上肢7自由度の最大関節トルク特性から、手先位置に発揮可能な力ベクトルを推定する手法について検討してきた。しかし、残存筋力である最大関節トルクは、等速性筋力測定装置等を用いて単関節運動ごとに計測するのが一般的であるため、上腕二頭筋や上腕三頭筋長頭などの二関節筋の機能を正確に把握できず、実際には発揮不可能な力成分を誤って推定してしまう問題が残されていた。

2. 研究の目的

本研究では、日常生活動作の基本である多関節複合動作時の最大関節トルクを計測可能な新しい残存筋力測定装置を開発し、多関節筋の機能を考慮した上肢7自由度（肩関節の屈伸、内外転、内外旋、肘関節の屈伸展、手関節の回内外、掌背屈、橈尺屈）の筋力発揮特性と、任意姿勢における手先力発揮特性をそれぞれ解析する。また、本研究成果を用いた適合支援の具体例として、車いすの適合

問題を取り上げ、個々人の残存運動機能を活かすための車いす駆動条件について、検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 多関節筋力測定装置の開発

Cybox (Cybox Inc.) や Biodex (Medical Systems Inc.) などに代表されるような既存の筋力評価装置の多くは、測定する関節の回転軸と、トルク測定器の回転軸を一致させることで、単関節運動における最大関節トルクを計測する方式を採用している。しかしながら、この方式により多関節複合動作への拡張を考えた場合には、関節数と等しい数のトルク測定器が必要となり、装置が大型化および複雑化するため、現実的な手法とはいえない。そこで、本研究では、逆動力学解析手法を用いて上肢7自由度の最大関節トルク特性を同時に定量化する新しい残存筋力測定装置を開発した。逆動力学解析とは、上肢姿勢と手先力の実測値から、各関節が発揮したトルクを計算する手法である。本研究では、座席部と手先力計測部の相対的な位置・姿勢をパソコンで制御することにより、等速性の関節運動や手先の円運動など、任意の多関節上肢運動を生成した。そして、各上肢姿勢において、手先力を指定の方向へ発揮し、その際の手先力を6軸力覚センサを用いて実測することで、多関節複合動作時に発揮可能な最大関節トルク特性の組み合わせを計算した。さらに、得られた上肢7自由度の最大関節トルクの組み合わせから、手先力の発揮特性を生体力学的に解析した。

(2) 車いすの適合性評価への応用

残存運動機能に基づく適合支援技術の具体的な適用例として、手動車いすの適合問題を取り上げ、車いすのシート高さや駆動負荷が異なる場合の適合性の違いについて検討した。駆動実験は、シート高さ、シート角度、ホイールベース長さ、トレッド幅、走行抵抗などを自由に変更可能な車いすシミュレータを用いた。被験者は、健常成人男性とした。シートの初期位置は、被験者が腕を真下におろした際の指先位置が、駆動輪軸と等しくなるように予め調整した。評価指標には、関節トルク、筋消費エネルギー、唾液アミラーゼ活性、酸素摂取量、駆動効率などを用いた。このうち、関節トルクは、3次元運動計測装置 (Fastrak; Polhemus Inc.) を用いて計測した上肢運動と、6軸力覚センサ (IFS-45E15A250-I63-ANA, ニッタ (株)) を用いて計測したハンドリム駆動力から、上肢7自由度剛体リンクモデルを用いて逆動力学的に計算した。筋消費エネルギーは、上肢運動に支配的な10筋（上腕筋、三角筋前部、三角筋中部、三角筋後部、上腕二頭筋、上腕

三頭筋短頭, 上腕三頭筋長頭, 大胸筋, 橈側手根屈筋, 橈側手根伸筋) を考慮した筋骨格モデルを用い, 各筋の張力を最適化計算により推定した後, 江原らの方法を用いて算出した. 唾液アミラーゼ活性は, 交感神経モニタ (α -AMY, ヤマハ発動機 (株)) を用いて即時分析した. また, 酸素摂取量の計測には, 呼気ガス分析装置 (Cpex-1, インターリハ (株)) を用い, 駆動前の安静時酸素摂取量と駆動時の運動時酸素摂取量の比から運動強度 METS (metabolic equivalents) を求めた後, 被験者が駆動に用いたエネルギーを算出した. 駆動効率_{車いす}は, 被験者が車いす駆動に要したエネルギーと, 車いすが行ったエネルギーとの比として定義した.



図1 車いす駆動実験の様子

4. 研究成果

(1) 多関節筋力測定装置の開発

座席部と手先力計測部の位置・姿勢を相対的にパソコンで制御することにより, 等速性の関節運動や手先の円運動などの多関節上肢運動を生成可能な実験装置を開発した. また, 手先力の計測値と, モーションキャプチャシステムで計測した上肢姿勢から, 多関節複合動作時の最大関節トルク特性を逆動力学的に算出することで, 二関節筋の影響を考慮に入れた関節トルク発揮特性の定量的評価を可能にした. さらに, 本装置を用いて計測した多関節運動時の最大関節トルクから, 任意姿勢における手先力発揮特性を計算した場合と, 単関節運動時の最大関節トルクから計算した場合とをそれぞれ比較したところ, 本提案手法により推定した手先力特性の方が, 従来法を用いた場合よりも実測値との誤差が小さくなり, 手先力発揮特性の推定精度が向上できることが確認された. 一方, 本装置に組み込まれたリニアアクチュエータ (LAN 1-1-24Q; Hiwin Corp.) の伸縮速度は, 7 mm/s 程度であり, 筋疲労の影響を抑えながら, 最大関節トルクの計測を短時間に行えるような改善が今後必要と考えられた. また, 装置の機構学的な特徴から, 手先の可動域に一部制限が設けられたため, 全ての上肢姿勢での計測が可能になるような, 改善も今後の課題と考えられた.

(2) 車いすの適合性評価への応用

駆動時のシート高さを初期位置から徐々に高くしていった場合は, 上肢7自由度の関節トルク, 筋消費エネルギー, 運動強度などが増加し, 身体的負荷が増加する傾向が見られた. ただし, その増加傾向は個人によって異なることから, 腕を真下におろした際の指先が車軸と同じ高さになるように, あるいはハンドリムの頂上を把持した場合の肘角が 90° になるように調整する一般的な適合方法では, 個々人に最適なハンドリム位置を実現できないと考えられた. また, 車いす駆動という肉体的刺激を与えてから, 唾液アミラーゼ活性が上昇するまでの時間には個人差があり, 同一時刻の唾液アミラーゼ活性を比較しても, 有意な差は見られなかった. そこで, 個人毎に標準化した唾液アミラーゼ活性の最大値を, 全被験者の平均値および標準偏差として整理したところ, 筋消費エネルギーの結果からは見られなかったシート高さの影響が, 統計学的な有意差として表れる場合があることが確認された.

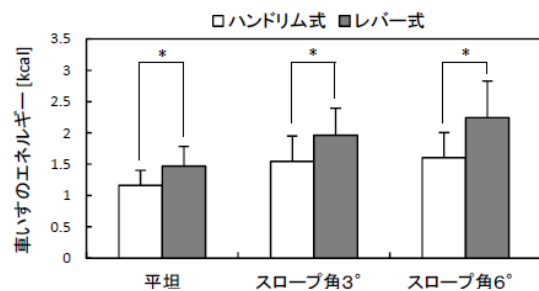


図2 車いすの走行に使われたエネルギー

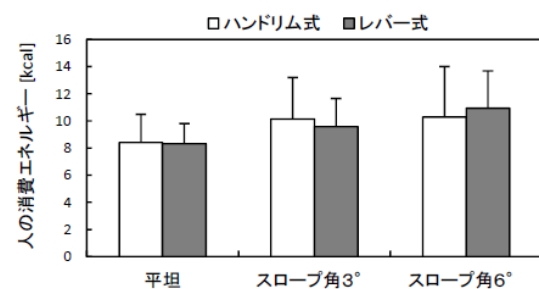


図3 人が消費したエネルギー

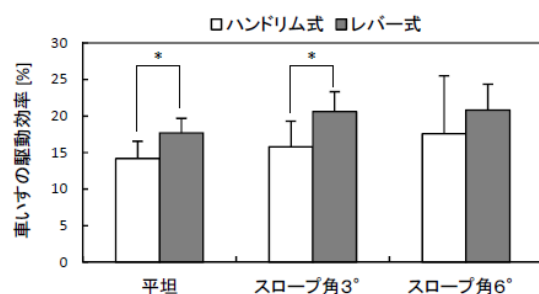


図4 車いすの駆動効率

スロープ走行を想定し、走行時の抵抗を徐々に増やした場合には、車いすの走行に使われたエネルギーも増加することが確認された。また、酸素摂取量から換算した人の消費エネルギーは、緩やかに増加する傾向が見られた。被験者が車いす駆動に要したエネルギーと、車いすが行ったエネルギーとの比である駆動効率率は、結果として増加する傾向が見られた。

(3)総括と展望

本研究では、日常生活動作の基本である多関節複合動作時の最大関節トルクを計測可能な新しい残存筋力測定装置を開発し、多関節筋の機能を考慮した上肢7自由度の筋力発揮特性と、任意姿勢における手先力発揮特性をそれぞれ解析した。また、適合支援の具体例として、車いすの適合問題を取り上げ、個々人の残存運動機能を活かすための車いす駆動条件について検討した。

個々人の上肢運動特性を解明することは、人間と機器、環境の調和・適合を目指した次世代の人間生活支援技術の基盤を担うものであり、本研究で明らかになった今後の課題を解決していくことで、多関節複合動作訓練装置の開発や、選択的にある筋群に負荷を加えるリハビリ訓練装置の開発、筋力発揮能力に基づいて最低限の補助を行うパワーアシストシステムの開発など、様々な応用が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 三浦弘樹, 巖見武裕, 佐々木誠: 筋骨格モデルを用いた車いす駆動における上肢関節負荷の検証, 臨床バイオメカニクス, 査読有, 掲載予定
- ② 佐々木誠, 三浦弘樹, 巖見武裕, 宮脇和人: 身体負荷に着目した車いす適合支援装置の開発, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 32, 2011, pp. 455-461

[学会発表] (計6件)

- ① 三浦弘樹, 巖見武裕, 佐々木誠: 筋骨格モデルを用いた車いす駆動における上肢関節負荷の検証, 第38回日本臨床バイオメカニクス学会, 2011. 11. 19, 神戸ポートピアホテル (兵庫県)
- ② 長田仁也, 伊藤翔太, 佐々木誠, 山口昌樹: 車いす適合支援を目的とした酸素摂取量の評価, 第45回日本生体医工学会東北支部大会, 2011. 10. 29, 岩手医科大学 (岩手県)
- ③ 伊藤翔太, 長田仁也, 佐々木誠, 山口昌樹: 車いす適合支援システムに関する研究, 心身ストレスに関する学術研究集会

2011. 9. 10, ホテル安比グランド本館 (岩手県)

- ④ Makoto Sasaki, Tomoki Shimakura, Goro Obinata, Masaki Yamaguchi: Adaptability evaluation of wheelchair based on physical and mental load, Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2010. 11. 9, 名古屋大学 (愛知県)
- ⑤ 佐々木誠: 上肢負荷に着目した車いす適合支援技術に関する研究, 第37回日本臨床バイオメカニクス学会, 2010. 11. 2, 国立京都国際会館 (京都府)
- ⑥ 佐々木誠, 嶋倉 知希, 大日方 五郎, 山口 昌樹: 身体的・精神的ストレスに着目した車いすの適合性評価, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010, 2010. 9. 18, 大阪大学 (大阪府)

[図書] (計2件)

- ① 佐々木誠: 車いす駆動, シミュレーション辞典, 日本シミュレーション学会, コロナ社, ISBN 978-4-339-02458-6, 2012, p. 73
- ② Makoto Sasaki, Takehiro Iwami, Kazuto Miyawaki, Ikuro Sato, Goro Obinata, Ashish Dutta: Vertex search algorithm of convex polyhedron representing upper limb manipulation ability, Search Algorithms and Applications, Edited by Nashat Mansour, ISBN 978-953-307-156-5, INTECH, 2011, pp. 455-466

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.iwate-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々木 誠 (SASAKI MAKOTO)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号: 80404119