

## 筋肉の負担・疲労の新しい評価方法に基づいた機械・道具のデザイン

### MACHINE AND TOOL DESIGN BASED ON NEW EVALUATION METHOD OF MUSCULAR LOADS AND FATIGUE

古賀 俊策 芸術工学部プロダクト・インテリアデザイン学科 教授

大田 尚作 芸術工学部プロダクト・インテリアデザイン学科 教授

相良 二郎 芸術工学部プロダクト・インテリアデザイン学科 教授

大内 克哉 基礎教育センター 准教授

Shunsaku KOGA Department of Product and Interior Design, School of Arts and Design, Professor

Syosaku OTA Department of Product and Interior Design, School of Arts and Design, Professor

Jiro SAGARA Department of Product and Interior Design, School of Arts and Design, Professor

Katsuya OUCHI Center for Liberal Arts, Associate Professor

#### 要旨

機械・道具の使いやすさを評価する場合、筋肉負担・疲労の軽減効果について検証を実施する必要がある。そこで、人間工学的な評価方法として、活動する筋肉の酸素動態を計測する装置を開発し、使いやすい機械・道具を研究した。近年、重量物の運搬、あるいは、高齢者や身体障がい者の介護作業現場で、筋肉の負担・疲労が軽減する機械・道具などの開発・デザインが始まっている。しかし、アシストスーツによる筋肉の負担・疲労の軽減効果について十分な検証がなされていない。そこで、本研究では、活動する筋肉における酸素動態を計測する近赤外分光装置(NIRS)を用いて、アシストスーツによる筋肉負担・疲労の軽減効果を検証した。従来の NIRS による計測は筋肉の表層部に限られてきたので、今回は深層筋の酸素動態も計測した。結果として、アシストスーツ着用の有無にかかわらず、全身にかかる負担を示す酸素摂取量と心拍数は差がなかった。一方、アシストスーツを装着した場合、脊柱起立筋の負担が減少することが確認された。さらに、肩・上肢の負担と疲労を減らす提案として、ゴムバンドを肩と上肢に付けて、重量物持ち上げ時の筋力を補助することが挙げられた。今回の基礎的な資料がユニバーサルデザイン・福祉用具・スポーツウエア・作業服などのデザインにおいても、活用されることが望まれる。

#### Summary

Objective evaluation of machine and tools design is crucial to reduce muscular loads and fatigue. In the present study, as an ergonomic testing method, measurement system for oxygen dynamics of active muscle tissues was developed to design comfortable products for human use. Development and universal design activities for machine and tools have been promoted to minimize the muscular loads and fatigue during care operation work for aged and handicapped people. However, there exists a lack of objective evaluation on assisted gear for care operation work. Using near infra-red spectroscopy measurement for oxygen dynamics of active muscle tissues, the physiological strain of assisted gear were evaluated. In particular, both the superficial and deep region muscles oxygen dynamics were measured continuously. As a result, there are no significant difference of whole-body oxygen uptake and heart rate between the conditions of wearing the gear and the control. However, the assisted gear reduced deoxygenation of muscle of erector spinae of the back. To minimize the muscular stress and increase the power of the upper extremities, attachment of rubber band on them are recommended.

## 研究の目的

機械・道具の使いやすさを評価する場合、筋肉負担・疲労の軽減効果について検証を実施する必要がある。そこで、人間工学的な評価方法として、活動する筋肉の酸素動態を計測する装置を開発し、使いやすい機械・道具を研究した。

## 研究の背景

製品の使いやすさやユニバーサルデザインの評価を実施する場合、身体にかかる生理・心理的なストレス・負担、および疲労を測ることは重要である。これまでに、日常生活の現場やフィールドでも測定可能な計測法が開発されてきた(例、脳波、筋電図、エネルギー代謝などの無線計測)。最近では近赤外分光を用いて、脳・筋肉の細胞と血液中における酸素濃度を皮膚の表面からモニターし、内部の代謝活動を測る光計測技術が開発されている<sup>1)</sup>。この方法により、脳機能ストレスや筋肉の負担を推定し、動きやすい衣服などのデザインへ応用することが可能である<sup>2)</sup>。

近年、重量物の運搬、あるいは、高齢者や身体障がい者の介護作業現場で、筋肉の負担・疲労が軽減する機械・道具・作業服などの開発・デザインが始まっている。しかし、アシストスーツによる筋肉の負担・疲労の軽減効果について十分な検証がなされていない。従来の近赤外分光装置(NIRS)による計測は筋肉の表層部に限られてきた。そこで、本研究では、活動する筋肉の深層部における酸素動態を計測する装置(高出力の時間分解NIRS)<sup>3)</sup>を用いて、アシストスーツによる筋肉負担・疲労の軽減効果を検証した。

## 方法

研究倫理審査委員会の承認を得て、調査実験を実施した。

1) アシストスーツ(腰部サポートウェア「ラクニエ」、モリタホールディングス)着用有無の条件を設定し、重量物の持ち上げ動作における全身、および筋肉の負担・疲労の測定を実施した(図1)。本研究で検証した

アシストスーツはゴムバンドの張力を利用して、中腰姿勢時の筋力補助と体幹を安定、背部にかかる負担と疲労を軽減する。とくに、動作中の筋活動に最適な効果を発揮する技術を応用してデザインされた製品であり、安価で優れた着心地が特徴である。

最初に、全身にかかる負担を示す酸素摂取量と心拍数の計測を実施した(ミナト医科学、AE-300S)。さらに、新しく開発した時間分解NIRS(浜松ホトニクス、TRS-20SD)を用いて、筋肉組織の酸素動態(脱酸素化ヘモグロビン、総ヘモグロビン量)を複数部位で(僧帽筋、脊柱起立筋、大腿直筋の表層部と深層部)モニターした。さらに、平均光路長、散乱係数、および吸収係数を連続的に測定した。また、超音波ドップラー装置を用いて筋肉表面の皮下脂肪厚を測り、酸素動態の値を補正した<sup>4)</sup>。そして、活動時における脱酸素化ヘモグロビン量が増加する(酸素不足を反映する)部位を特定し、負担・疲労が少ない筋肉を検討した。

2) 数値解析と統計処理ソフトを用いて上記の生体反応を解析し、全身、および筋肉の負担・疲労の軽減効果を検証した。



図 1 全身、および筋肉の負担の測定

## 結果

アシストスーツ着用の有無にかかわらず、全身にかかる負担を示す酸素摂取量と心拍数は差がなかった(図2)。上体にかかる負担については、アシストスーツを着用した場合、着用なしの条件よりも脊柱起立筋の脱酸素化ヘモグロビン量が減少し、酸素不足の低下が示唆された(図3)。

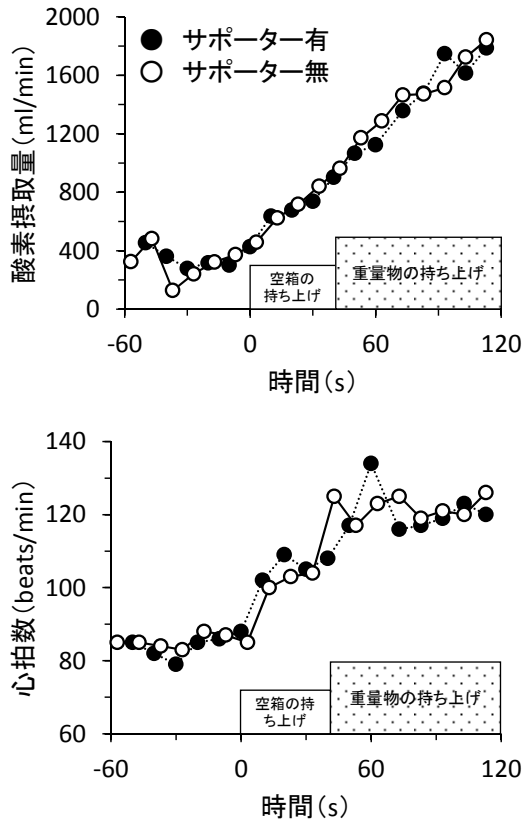


図 2 全身にかかる負担

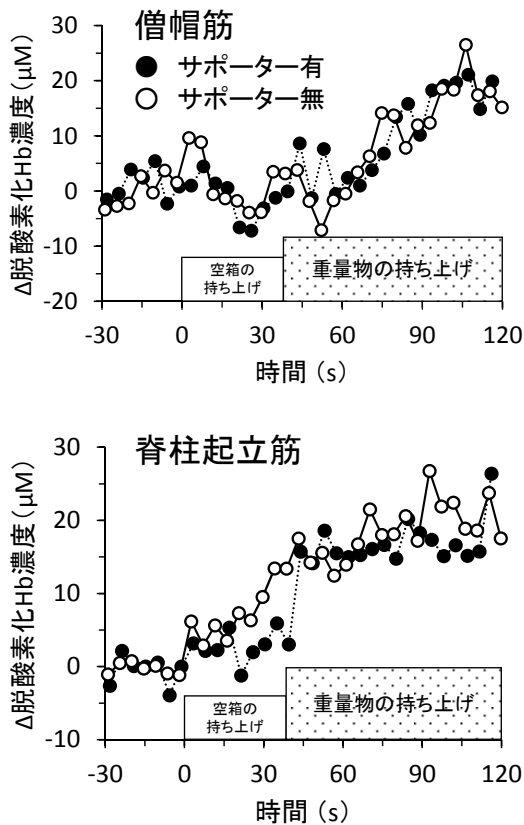


図 3 上肢および体幹にかかる負担

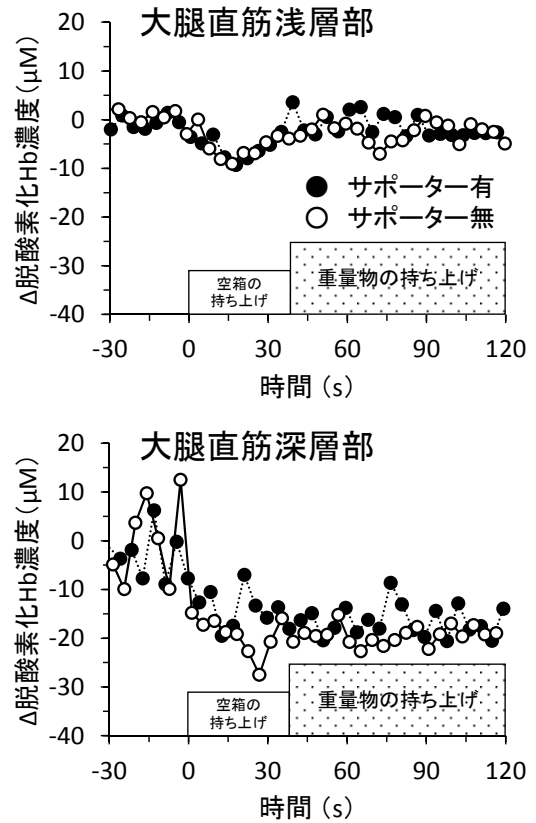


図 4 下肢にかかる負担

### 肩・上肢の負担と疲労を減らす提案



図 5 肩・上肢の負担と疲労を減らす提案

下肢にかかる負担については、アシストスーツ着用の有無にかかわらず、大腿直筋の表層部と深層部の脱酸素化ヘモグロビン量には差がなかった(図4)。疲労しにくい深層筋がより多く動員されれば、酸素の不足量が減少するので、筋肉の負担・疲労が軽減することが予想された。しかし、今回の研究では、アシストスーツ着用の有無にかかわらず、深層筋の脱酸素化ヘモグロビン量には差がなかった。

#### 今後の展開

今回の報告では、時間分解 NIRS 測定装置を用いて活動筋の酸素代謝を測定した結果を提供した。アシストスーツ着用による筋肉負担・疲労の軽減効果を検証した後、操作性の向上、コストダウン、外装のデザインを検討する必要が指摘された。とくに、肩・上肢の負担と疲労を減らす提案として、ゴムバンドを肩と上肢に付けて、重量物持ち上げ時の筋力を補助することが挙げられる(図5)。今回の基礎的な資料がユニバーサルデザイン・福祉用具・スポーツウエア・作業服などのデザイン現場においても、活用されることが望まれる。

#### 結論

1. 筋肉の深層部における酸素動態を計測する装置を開発した。
2. アシストスーツを装着した場合、脊柱起立筋の負担が減少することが確認された。
3. 肩・上肢の負担と疲労を減らす提案として、ゴムバンドを肩と上肢に付けて、重量物持ち上げ時の筋力を補助することが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) Koga S・Rossiter HB・Heinonen I・Musch TI・Poole DC, 「Dynamic heterogeneity of exercising muscle blood flow and O<sub>2</sub> utilization.」, 『Medicine & Science in Sports & Exercise』, 46(5), 2014, pp. 860-876
- 2) 古賀俊策・小倉繁太郎・見寺貞子, 「光技術による筋肉の代謝活動の計測」, 『神戸芸術工学紀要』, 2009
- 3) Koga S・Barstow TJ・Okushima D・Rossiter HB・Kondo N・Ohmae E・Poole DC, 「Validation of a high-power, time-resolved, near-infrared spectroscopy system for measurement of superficial and deep muscle deoxygenation during exercise.」, 『Journal of Applied Physiology』, 118(11), 2015, pp. 1435-1442
- 4) Okushima D・Poole DC・Rossiter HB・Barstow TJ・Kondo N・Ohmae E・Koga S, 「Muscle deoxygenation in the quadriceps during ramp incre

mental cycling: Deep vs. superficial heterogeneity.」, 『Journal of Applied Physiology』, 119(11), 2015, pp. 1313-1319.