

OS1-1

運動負荷による影響の評価のための基礎的研究

Fundamental Study for Evaluation of the Effect due to Exercise Load

○井上拓晃(諏訪理大) 清水俊治(諏訪理大) 高橋登(諏訪理大) 奈良博之(北大) 敦賀健志(道工大)

Hiroaki INOUE, Tokyo University of Science, SUWA
 Shunji SHIMIZU, Tokyo University of Science, SUWA
 Noboru TAKAHASHI, Tokyo University of Science, SUWA
 Hiroyuki NARA, Hokkaido University
 Takeshi TSURUGA, Hokkaido Institute of Technology

Abstract: Recently, Japan has become aged society, and Wide variety welfare devices have been developed. Evaluation of welfare devices are limited only stability, intensity and partial operability. So, evaluation of usefulness is insufficient. In this time, we measure load of sitting-standing operation to use EMG and Three Dimension Motion Capture and set a goal to establish objective evaluation method. We think that establishing objective evaluation method is necessity for KEIROKA Technology. And we examined possibility of assessing load and fatigue from measuring brain activity to use NIRS.

Keywords: Evaluation, Movement, Exercise, 3D Motion Capture, NIRS, EMG

1. 背景・目的

日本は高齢社会となり、福祉機器の有用性が高まり福祉機器の市場が拡大し、多様な福祉機器が開発されている。しかし、福祉機器の有用性を評価においては、安定性や強度、操作性の一部のみであり、身体負荷、疲労軽減度、姿勢安定性などの生体工学的観点に基づく、客観的かつ定量的に評価するための基準が確立されていない。過去の研究では、主観的な特定の福祉機器の使用時のみの身体的負荷を計測し評価するという手法がなされてきた。福祉機器の有用性に関しては、その他の要素も考慮する必要があると考えられる。特に一般性を重視すると、個々の福祉機器に特化した動作を計測するのではなく、一般的に生活上で行われる動作の計測が必要となると考える。

そこで我々は、福祉機器の有用性を検討するための手法を確立することを最終目的とし、生体動作の身体的負担を3次元動作解析装置と筋電位計から計測することを評価の可能性を検証した。加えて、NIRS(近赤外分光装置)を用いて、生体動作中の脳活動を計測・解析することで、脳活動から負荷や疲労を定量的に評価する可能性を検証した。

今回は、生体動作の中で一般的に行われる立ち座り動作に焦点を絞り、3次元動作解析装置と筋電位計測形を用いて立ち座り動作の評価を行った。またNIRSを用いた前頭前野の脳活動の計測では、座位移乗動作、移乗補助器具を使用した場合の腰の上下の動作を行った際の前頭前野の脳活動の計測を行った。それにより、身体的負荷の定量的評価の可能性について検討し、一般性を考慮した評価手法の確立を目指す。

2. 実験方法

2-1 3次元動作解析装置と筋電位計測装置による評価

3次元動作解析装置には、NAC社のMAC 3DSYSTEMを用いた。赤外線カメラは、被験者を中心に8台のカメラを前方左右45度方向に支柱を立てて、異なる高さに各2台、後方左右45度方向も同様に各

2台、計8台を設置した(図1)。被験者に取りつけるマーカーはヘレン・ヘイズ法に基づき、27か所とした。また動作解析装置のサンプリング周波数は100Hzである。

筋電位は、無線通信が可能な表面筋電位計測とし、キッセイコムテック社のMQ16を用いた。計測対象は被験者の動作をできるだけ拘束しないように考慮し、「立ち」「座り」動作に関連の深い、前脛骨筋、斜腹筋、大腿四頭筋、ハムストリング、尺側手根屈筋、尺側手根伸筋、上腕三頭筋、背筋の計8ヶ所とした。筋電位の計測データは、動作解析装置と同期を取って計測した。筋電位計測におけるサンプリング周波数は1kHzでおこなった。



Fig.1 Experiment view by Motion Capture and EMG

3次元動作解析装置と筋電位計を用いた動作計測では、移乗補助器具と椅子を重ね合わせて配置し、被験者に5回連続して立ち座り動作を行った。ここで、移乗補助器具と椅子を重ねて配置した状態では、椅子から移乗補助器具、そして移乗補助器具から椅子までの動作を一連と考え、イスからイスに戻るまでの動作を5回連続することとした。実験結果を比較できるようにするために、被験者には1秒ごとに鳴るブザー音を聞かせ、動作に要する時間を一定、つまり動作速度を一定とした。動作の速度を決定するために、健康的な高齢者での可能な動作速度を考慮し、座った状態から座った状態に戻るまでを8秒間とした。また移乗補助器具の操作は被験者以外が行った。

2-2 NIRSによる評価

一般性を考慮した評価方法確立のため、以下のような動作時の脳活動を計測した (Fig. 2)。

①座位移乗による移乗動作の脳活動計測

2つの椅子の間を腰で座面を滑るように移乗する。座位移乗は、腰を上げずに座面に滑るように移動する移乗方法である。この動作を計測前に被験者に十分に練習し慣れてもらった。

被験者には、2つの椅子の一方に座ってもらい、指示と同時にもう一方の椅子に座位移乗を行ってもらった。実験は Rest10 秒 → Task10 秒 → Rest10 秒とし、10 回繰り返し行った。

②移乗補助器具を使用した移乗動作の脳活動計測

移乗補助器具を用い、中腰になるまで腰を上げて、移乗補助器具の座面に移乗する動作おこなった。移乗補助器具の操作は、被験者以外が行い、被験者が指示を受けて中腰姿勢を取ると同時に操作した。移乗補助器具による移乗を計測前に十分に慣れてもらった。実験は Rest10 秒 → Task10 秒 → Rest10 秒とし、10 回繰り返し行った。

③腰を椅子の座面から離れた状態を保つ動作の脳活動計測

先ほどの移乗補助器具を使用し、開眼し座った状態 (動作①) と、腰を上げたままの姿勢を保持してもらった動作 (動作②) を交互に行ってもらった。動作の間、課題実行前、終了後には閉眼し 10 秒間安静状態を取ってもらったこととした。実験は Rest10 秒 → Task(動作①)10 秒 → Rest10 秒 → Task(動作②)10 秒 → Rest10 秒とし、7 回繰り返し行った。

使用機器は、島津製作所社製 FOIRE-3000 8チャンネルを使用し、前頭に左右対称4チャンネルずつ配置した。

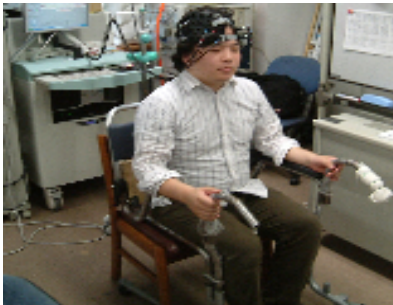


Fig.2 Experiment View by NIRS

3. 実験結果

3-1 3次元動作解析装置と筋電位計測装置による評価

3次元動作解析装置および筋電位計による移乗動作の計測結果を図3に示す。転子点中点は、左右転子点の midpoint の床からの高さである。体幹角度は、体感の前方向への傾きである。また前脛骨筋、緋腹筋、大腿四頭筋、ハムストリング、上腕三頭筋、尺側手根伸筋、尺側手根屈筋は、筋電位を整流した波形である。

また、立ち座り動作と移乗補助器具を使用した際の立ち座り動作を転子点中点の位置や体幹角度から立ち上がる動作、座る動作を切り出し、その区間の筋電位を積分した。そして移乗補助器具未使用時に対して使用時の筋電位積分値の変化を、Table1 に示す。次に、ヘレン・ヘイズ法によるマーカーの配置から重心位置を推定し、立ち上がり動作の重心の移動距離について比較し、Table2 に示す。

3-2 NIRSによる評価

全被験者の共通した計測結果として、課題遂行時には、酸化ヘモグロビン濃度長が増加し、安静時には減少するという傾向が見られた。従って、課題に依存したヘモグロビン濃度長変化は計測できていると考えられる。Fig6 ある被験者の優位差が見られたチャンネルのトレンド画像である。

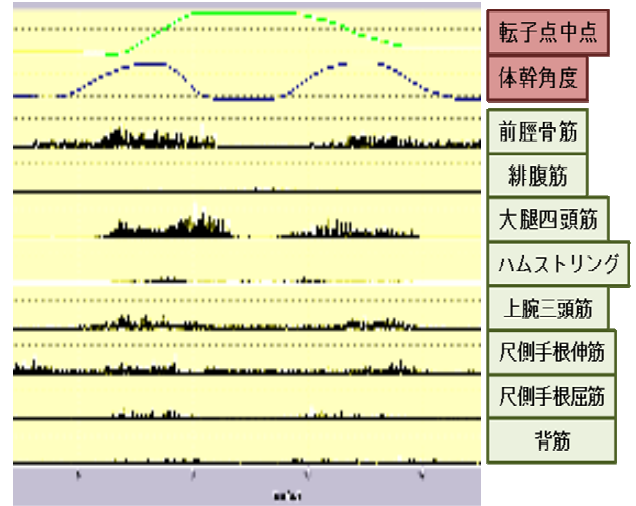


Fig.3 Result of Motion capture and EMG

Table 1 Comparison of the Integral EMG

	筋肉の部位	被験者 1	被験者 2	被験者 3
立ち上がる	前頸骨筋	0.37	0.49	0.64
	緋腹筋	0.83	0.78	0.97
	大腿四頭筋	0.66	0.36	0.81
	ハムストリング	1.90	0.50	1.07
	上腕三頭筋	1.07	3.34	1.01
	尺側手根伸筋	1.08	1.31	0.96
	尺側手根屈筋	1.07	0.89	0.85
	背筋	0.98	0.87	1.20
座る	前頸骨筋	0.50	0.59	0.80
	緋腹筋	1.01	0.92	0.94
	大腿四頭筋	0.49	0.57	0.85
	ハムストリング	2.16	1.60	0.96
	上腕三頭筋	0.89	0.96	1.07
	尺側手根伸筋	0.79	0.89	0.86
	尺側手根屈筋	0.79	0.86	0.95
	背筋	1.16	1.18	0.93

Table 2 Comparison of Center of Gravity Distances

	被験者 1	被験者 2	被験者 3
座る	0.89	1.03	0.90
立ち上がる	1.00	0.84	1.08

解析には、1標本 t 検定を用いた。標本は、①、②では課題の、③では課題中の約 4 秒間の脳活動データを標本した。まず、同一課題の検定に関しては、1回目の試行と、2回目から9回目の試行を検定に掛けることで、統計的優位差が見られるまでの試行回数つい

て検証を行った。

同一課題において、1標本t検定を行った場合、課題①では、3回目の試行から統計的優位差が確認されたのに対し、課題②では、7回目以降であった。Fig9, Fig10に統計的優位差が確認された部位を示す。検定結果は、左脳半球のみで統計的優位差が確認された。次に、移乗動作を補助機器なしの場合とありの場合で、同一の試行回数の計測データで解析を行った。この解析においては、同一課題を検定にかけた結果とは異なり右脳においても統計的優位が確認できた。また、優位差の現れ方に2種類の傾向が見られた。第1に、1回目の試行から優位差が確認されるパターン、第2に後半の試行のみで優位差が確認できるパターンである。優位差が見られた部位をFig11に示す。

次に課題③についての解析結果を述べる。課題③では、着座と中腰という2種類の姿勢を交互に繰り返している。そこで、まずは同一姿勢の試行1回目と、2回目から5回目の試行時の脳活動データ約4秒を用いて解析を行った。解析結果として、2回目の試行に関しては計測部位全域において統計的優位差が確認でき、5回目の試行に関しては、特定のチャンネルで統計的優位差が確認できている。Fig12に、5回目の試行データを用いた解析結果を示す。

次に、中腰姿勢での解析に関しては、統計的な優位差を確認するには至らなかったが、傾向として、試行回数が増えるにしたがって活動が全体的になっていく被験者と、変化がほとんど見られない被験者の2パターンに大別できた。

また、着座及び中腰姿勢時の検定結果に関しても、全体的に徐々に活性化して行くパターンと、逆に賦活して行くパターンに大別され、局所的な優位差は確認されなかった。

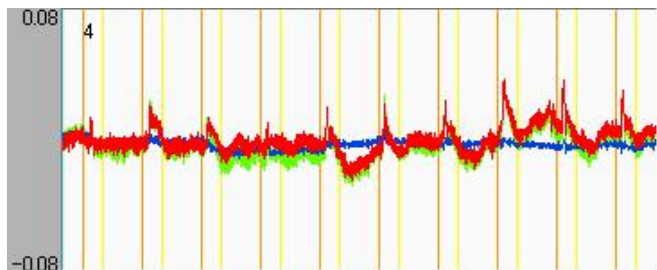


Fig.6 Measuring Result of task1.

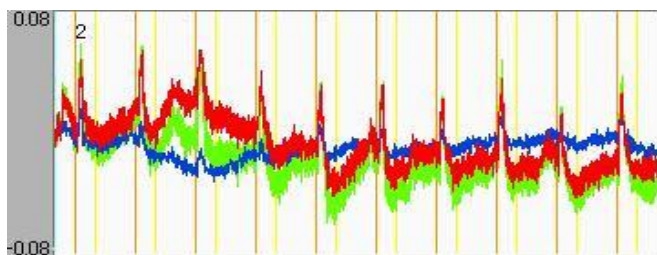


Fig.7 Measuring Result of task2.

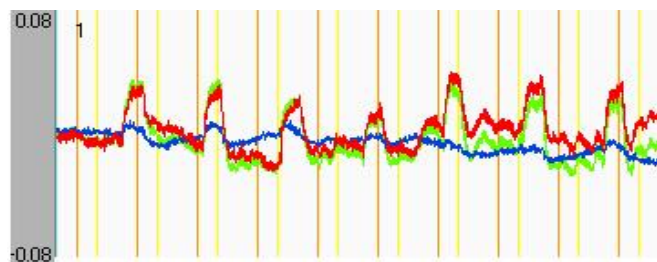


Fig.8 Measuring Result of task3.

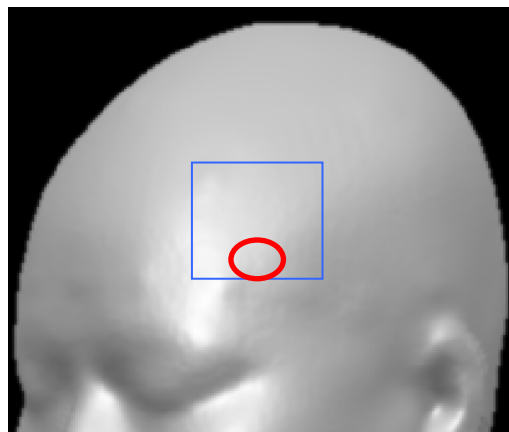


Fig9. Significance difference of task1.

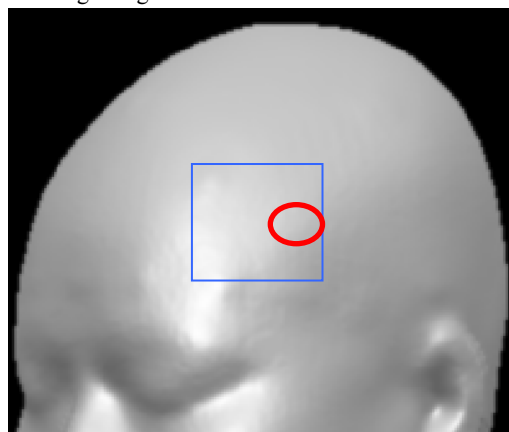


Fig10. Significance difference of task2.

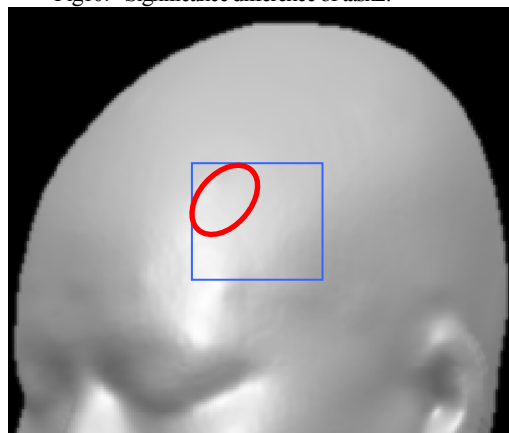


Fig11. Significance difference at task1-task2.

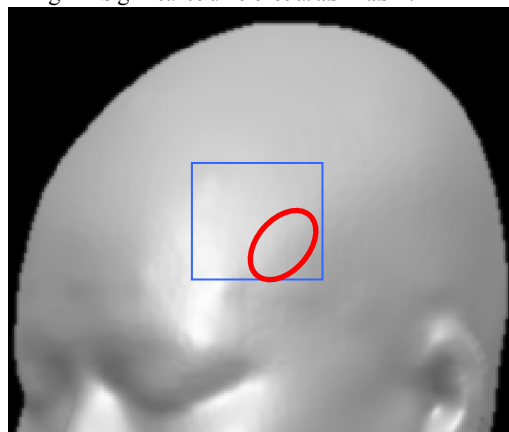


Fig12. Significance difference at sitting position

4. 考察・結論

4-1 3次元動作解析装置と筋電位計測装置による評価

前傾骨筋、大腿四頭筋に大きく差がみられ、移乗補助器具を使用した際の筋電位積分値が減少している。また上肢及び背筋の筋電位の積分値は大きく減少はしなかった。また重心の移動距離は移乗補助器具使用時において減少した。これは、移乗補助器具と椅子の座面に高低差があるためと考えられる。

このことから移乗補助器具は下肢への身体的な負担を軽減する有用性があると考えられる。これより、立ち座り動作において移乗補助器具を使用した場合には、筋肉の負荷が減少し、重心変動が小さくなり重心が安定し転倒しにくくなると考えられる。

立ち座り動作という一般的な生活動作を移乗補助器具で行った場合でも、筋電位積分値や重心の移動距離などにおいて差がみられるため、個々の福祉機器使用の際の動作の以外の一般的な動作でも評価できる可能性が示せたと考える。

4-2 NIRSを用いた実験

今回の実験では、脳活動を基準とし、身体的および精神的負担を定量的に計測することを試みた。結果として、試行回数や維持する姿勢によって脳活動に差が見られることは確認できた。本実験は、課題後、或いは課題中の静止状態での脳活動の計測結果を元に検定を行っており、皮膚血流を計測している可能性は否めないが、体動や首の角度変化による脳血流の変化といった外乱となる要素は可能な限り除去する手法で行っている。したがって、本実験で統計的優位差が確認できたことは、課題遂行による負担というものがある程度、定量的に計測が出来ていると考える。

また先行研究によれば、負担や疲労に関係する脳部位として、Advanced Trial Making Test[1]を試行中の脳活動をPETで計測し、ブロードマンマップ11野、10野の活性低下が報告されており[2]、この結果を少なからず支持するものとなった。

現段階では、被験者数を増やす必要性はもちろん、脳活動だけでなく筋電位など他の生体信号との同時計測を行う必要性など実験手法の問題は否定できないが、動作による差が計測できたという点で、一般動作を定量的に評価することに関して、ある程度の結果が示せたと考えている。

5. 結論

本実験では、3次元動作解析装置と筋電位計測装置を用いて、一般動作の中で立ち上がり動作に焦点を絞り、身体的負担を定量的に評価することを試みた。

結果として、前傾骨筋や大腿四頭筋などの下肢筋肉においては、移乗補助器具を用いた際に、筋電位積分値が大きく減少することが確認できた。また、先行研究では、立ち上がり動作に関して、体幹前傾角度と動作時間には正の相関があることが報告されているが[3]、我々は重心移動距離を算出することで立ち上がり動作時の転倒の可能性を推定し、補助器具により転倒の可能性が減少することを確認した。

次に、脳活動を基準とし、身体的および精神的負担を定量的に計測することを試みた。試行回数や維持する姿勢によって脳活動に差が見られることは確認できた。本実験では、静止状態での脳活動の

し、体動や首の角度変化による脳血流の変化といった外乱となる要素は可能な限り除去する手法で行っている。したがって、本実験で試行回数や試行内容、姿勢維持による差を計測できたことは、課題遂行による負担を定量的に評価する上で一定の結果を示すことが出来たと考える。

我々の目的は、主として身体的負担や疲労を定量的に評価することである。そのため、3次元動作解析と筋電位計測の同時計測を行い、動作の違いによる筋負担の変化を定量的に評価することを試みた。

しかしながら、精神負担に関しても定量的な評価をすることが必要であると考えている。福祉機器に関しては、要介護者や非健常者が、福祉機器を長時間に渡り使用する場合も想定される。この場合、身体的疲労だけでなく精神的疲労に関して、長時間の使用が、使用者にどのような疲労を蓄積させるのかを検討することは、福祉機器の設計や残存した身体機能の維持の観点から検討すべき問題である。

また、身体的負担と精神的負担を切り分ける試みも行われているが、我々はそれらの間には相互関係が成り立っていると考えている。そこで、脳活動を指標とし、肉体的負担を含む精神的負担を計測し、それらを定量的に評価することを試みたのである。今後は、被験者を増やすと共に、他の生活動作に伴う負担を定量的に評価することで、福祉機器の有用性を検討するための手法を確立することを目指している。

引用文献

- [1] 倉垣 弘彦「疲労の定量化および評価技術の開発」
文部科学省科学技術振興調整費 生活者ニーズ対応研究「疲労および疲労感の分子・神経メカニズムとその防衛に関する研究」班
<http://www.hirou.jp/seika/pdf/kura3.1.1.pdf>
- [2] 渡辺 恭良「疲労の分子神経メカニズムと疲労克服」
日本薬理学会誌129 94-98p(2007)
- [3] 丸田 和夫「シート角度が立ち上がり動作時の体幹前傾に及ぼす影響」理学療法学 第31巻第1号21~28頁 (2004年発行)

謝辞

本研究に際しナックイメージテクノロジー株式会社様からは3次元動作解析装置と計測場所を、キッセイコムテック株式会社様からは筋電位計と解析ソフトを、株式会社島津製作所様からは近赤外光分光器を、アイデアシステム株式会社様から開発中の移乗補助器具を、提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表す。