動作空間に制限を与えた際の生体特性 —上肢筋電図による検討—

○古澤 憲治, 小谷 賢太郎, 堀井 健 (関西大学 工学部)

Physiological characteristics in tracking task required fine arm control

—Analysis by upper limb EMG—

Kenji Furusawa, Kentaro Kotani, Ken Horii (Faculty of Engineering, Kansai University)

1.はじめに: ロボット技術は、産業用だけでなく民生用の分野においても広く開発・利用されている。特に近年、危険な現場での作業や人間が作業するのに不向きな場所における作業において遠隔操作型ロボットの利用の可能性が広がってきており、今後、福祉作業、宇宙開発、医療現場などでも遠隔操作型ロボットが実社会で普及すると予想されている¹⁾。一般に、モニタを見ながら遠隔操作をおこなう場合、実際の動きとは異なる目と手の協調作業が要求されるため、従来の動作研究や生体負担に関する知見の適用は困難である²⁾とされている。このような遠隔操作に関する研究は数多く報告されているが、遠隔操作における人間の生体特性についてはほとんど報告されていないのが実状である。そこで本研究では、動作空間を制限した空間位置決め動作を対象に、モニタの有無が生体およびパフォーマンスに与える影響について実験を通して検討することを目的とする。本報告では、生体特性として上肢筋電位、パフォーマンス指標として位置決め作業における動作時間、および動作のエラー率について検討する。

2.実験方法:

被験者: 本実験の被験者は成人男女 5 名である。

手順: 実験システムの構成を図 1 に示す。被験者は、拇指と示指で 45 g の対象物を把持し、始点-終点間 90cm を結ぶ直線を軸とする円柱状の動作制限領域 (不可視) 内を、始点から終点に早く、かつできるだけ制限範囲外にでないように動作した。動作空間の大きさは 3 水準 ($r=1.0\text{cm}, 1.5\text{cm}, 25\text{cm}$) とした。また、直接肉眼で手元を見ながら動作する場合と、動作空間と対象物の現在位置が逐次表示されるモニタを見ながら動作する場合の 2 条件でおこなった。直視動作におけるエラーのフィードバック方法は、アラーム音により聴覚

情報を提示した。始点から終点を 1 試行として、各条件において 3 試行おこなった。以上の条件の下で、上肢筋電位、動作時間を計測し、動作軌跡から各動作のエラー率 (動作空間の外に対象物が出ていた時間比率) を検出した。

図1 実験システムの構成

3.結果:

分散分析の結果、モニタの有無によりそれぞれの上肢筋の筋負担値 (総指伸筋 ($F(1, 52)=11.17, p<0.01$), 浅指屈筋 ($F(1, 52)=13.12, p<0.01$), 僧帽筋 ($F(1, 52)=77.52, p<0.01$)) と動作時間 ($F(1, 52)=9.01, p<0.01$) に変化が見られた。動作空間の違いによる変動が動作時間 ($F(2, 52)=150.99, p<0.01$) と浅指屈筋 ($F(2, 52)=3.89, p<0.05$) における筋負担、およびエラー率 ($F(2, 52)=88.46, p<0.01$) に見られた。

4.考察:

4-1. 上肢筋に与える影響について

まず、モニタの有無が与える影響について考える。図2は上肢筋の筋負担値がモニタの有無によりどのように変動したかを示している。図2より、伸筋・屈筋の筋負担値はモニタを見た動作の方が、直視動作に比べて上昇 (伸筋: 4.1 ポイント, 屈

筋:5.4 ポイント)していたが、逆に僧帽筋の筋負担値はモニタを見た動作の方が、直視動作に比べて 10.9 ポイント減少した。直視動作の場合は、被験者は自分の手と動作空間との位置関係をアラーム音によって確認するため、対象物を動作空間内で維持しようとする意識が増加したと考えられる。それが、姿勢維持時に主に働く僧帽筋の筋負担値を増加させたと考えられる。以上のことから、本研究で課した連続的な微細動作環境において、モニタを用いることは、上肢姿勢維持の筋負担軽減に貢献できると推測される。

次に動作空間の制限の違いが与える影響について考える。図 3 は動作空間の違いによる屈筋の筋負担値およびエラー率の変化を示している。本

図 2 モニタの有無による上肢筋電位の変化

図 3 モニタの有無と制限別の浅指屈筋の筋負担およびエラー率の変化

図 4 モニタの有無における制限別の動作時間およびエラー率の変化

実験では、浅指屈筋の筋負担のみが有意に変動した。対象を把持する指先が動作空間外に出た場合、被験者には早く範囲内に戻すよう指示しているため、瞬時に動作修正ができるように把持に必要な指先の屈筋を常に準備状態にしておく必要があると推測される。しかし、動作にモニタを用いることで、手と動作空間の位置関係が逐次把握ができることから、その必要性は直視の動作の場合と比べて軽減されることが考えられる。しかし、これについてはさらに詳細な分析が必要であろう。

4-2:パフォーマンスについて

まず、モニタの有無が与える影響について考える。図 4 は動作空間の制限の違いによる動作時間およびエラー率の変化を示している。図 4 より、作業が困難と考えられる制限の厳しい作業条件下では、モニタを見た動作の方が直視動作よりも動作時間は長くなっていることがわかる。逆に動作空間の制限がほとんどない作業条件下では、モニタを見る方が動作時間は短くなっている。これについては今後、モニタの配置や表示方法などによる比較をおこなうことにより、十分に検証する必要がある。

次に、動作空間の制限が与える影響について考える。動作時間・エラー率が図 4 のように有意に増加したのは被験者固有の動作軌道を制限によって妨げられたことが原因であろう。柴田らが報告するように³⁾、人間は随意的に運動させると、おおむね唯一の直線軌道を選択すると言われているが、動作空間に制限がある場合、被験者はそのような軌道を制限により妨げられるため、軌道を修正するための運動を随時おこなうために、より動作時間が増加したと考えられる。

5. まとめ

- 1) モニタを用いた空間位置決め動作では、上肢姿勢維持に関する筋負担が軽減される傾向が見られた。
- 2) モニタを見た動作では動作空間の制限が厳しくなるにしたがって浅指屈筋の筋活動は減少した。

6. 参考文献

- 1) 日本ロボット工業会: 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書, 2001.
- 2) 手島, 植原, 市川, 梅村: テレビモニタを用いた微細動作が作業者に与える影響, 日本経営工学会平成 8 年春季大会予稿集, 79-80, 1996.
- 3) 柴田, 大場, 猪岡: 位置決め精度が必要な人間上肢運動に関する実験的考察, 人間工学, 29 (5), 279-287, 1993.