

温度と振動による皮膚感覚刺激が力制御に与える影響

Effects of temperature and vibration stimuli on finger skin during precise force control

キーワード: 表面筋電図、皮膚感覚、振動、温度、力制御

人間生活工学研究室: 原田 愛子

■Abstract: This study conducted two experiments to investigate the effects of temperature and vibration stimuli on finger skin during precise force control. Exp.1 intended for feedback of the touchscreen or the equipments for visually impaired people. To investigate the effects of passive vibration stimulus, the task was precise force control for the vibrating surface (5/33/48 °C). Vibration stimulus of the exp.2 was defined as the tactile stimulus of fingers holding the object during move. The effect of the vibration and temperature (5/33/57 °C) on the fingertip force control was examined, and compared with Exp.1. As well as in Exp. I and Exp. II, the force control was influenced by different vibration stimuli. It is possible to precisely manipulate the vibrating surface while moving the hands and arms, suggesting that effective vibration feedback.

■背景

指先の皮膚感覚によるフィードバックは力制御において非常に重要な意味を持つ。温度は皮膚感覚感度に影響するため、皮膚感覚の研究において無視できない要因である。

冷却や麻酔によって皮膚感覚を低下させた既往研究[1]では力制御精度が低下したが、オブジェクトを掴んだ被験者自身の腕を動かすことで得られるわずかな固有受容入力により力入力のタイミングは影響を受けなかったとの報告がある。しかし、冷却以外の温度刺激と振動刺激による影響を検討した例は見当たらない。

■目的

本研究の目的は温度と振動による皮膚感覚刺激が筋による力制御に与える影響を調べることとし、2つの実験を行った。両実験とも日常生活に近づくよう、温度を3条件とし、精密な力制御をタスクとした。実験Iでは受動的な振動刺激で高精度の検討を行い、実験IIで能動的な動作中についての検証を行った。

■実験 I

実験Iはタッチパネルのフィードバックや視覚弱者を考慮した操作機器を想定し、受動的な振動刺激による影響を調べることが目的で、振動する平面の精密な力制御をタスクとした。

□方法

ペルチェユニット(TKG-311-230, 坂口電熱)に振動モーター(自作, 25 Hz)を取り付け、超薄型台はかり(PLL-5L-120, 東洋測器)の上に載せた実験機器を制作した。被験者は自然な姿勢で肘まで支持台に載せ、指先をペルチェユニット上に載せた。本装置は振動(有、無)と温度(5, 33, 48°C)を設定できた。

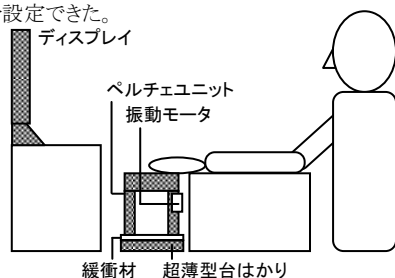


図1 実験機材配置

健康な大学生9名(男性7名, 女性2名)が同意して実験に参加した。全員利き手の右手でタスクを行った。

被験者は前方40cmのPCディスプレイにリアルタイムで表示される目標波形と力入力波形を見ながら、示指でペルチェユニット上面を鉛直下方に押す力でトラッキングタスクを行った。タスクは1条件約75秒で、サイン波形、ステップ波形、ランダム波形で構成された。

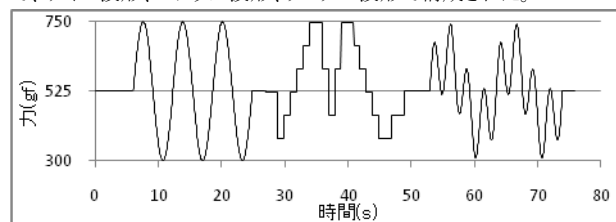


図2 目標波形

学習効果を防ぐため、実験開始前に十分な練習を行わせた。実験室の気温は25°Cに保ち、暑くも寒くもないことを被験者に確認した。

前腕の表面筋電位(第一背側骨間筋、浅指屈筋、総指伸筋)と力入力データをデータ集録・解析システム(MP-150; Biopac Systems, inc.)を用いて計測した。表面筋電位500 Hz、力入力データ20 Hzのサンプリングレートで計測した。

本タスクでは微小な力によるトラッキングが要求されるため、力を強めたり弱めたりを頻りに繰り返して制御値を目標値に近づけようとするフィードバック制御が全被験者で確認された。そこで微小な筋活動の増減の合計を「筋活動動的成分」とし筋電図解析に用いた。この値が大きいほど筋活動の増減の幅が大きく回数が多いということであり、無駄な活動が多いと言える。データ解析ソフトウェア(AcqKnowledge 4.1.0; Biopac Systems, inc.)を用いて図3のように演算を行った。

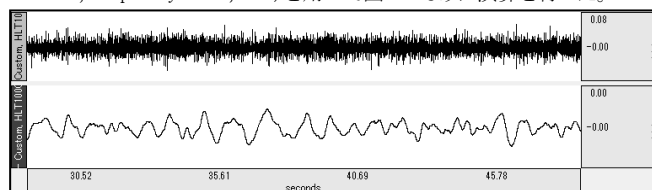


図3 筋電図演算例(ステップ波形タスク中の20秒間)

上: 生波形 下: 筋活動動的成分

力入力データから入力時間誤差と力入力誤差の2つの指標を取り出した。入力時間誤差は目標波形と入力波形の相互相関関数のピークのタイムラグを指標とした。タイミングがぴったり合っていれば値は0となる。力入力誤差は目標値と力入力値の差の絶対値を合計したものである。筋活動動的成分と力入力誤差はz-scoreを解析に用いた。

それぞれタスク全体、サイン波形、ステップ波形、ランダム波形の4つに分けて一元配置分散分析とBonferroniの多重比較を行った。有意水準は5%とした。

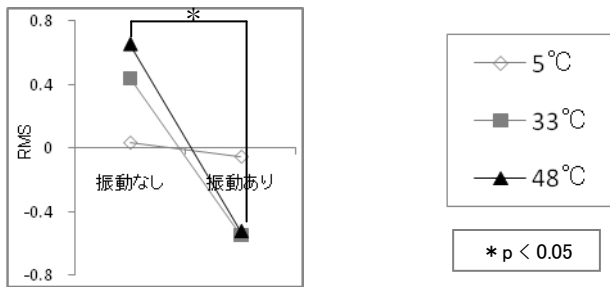
□結果

筋活動動的成分は48°Cステップ波形タスク中の総指伸筋で振動あり条件が有意に小さかった(図4a)。

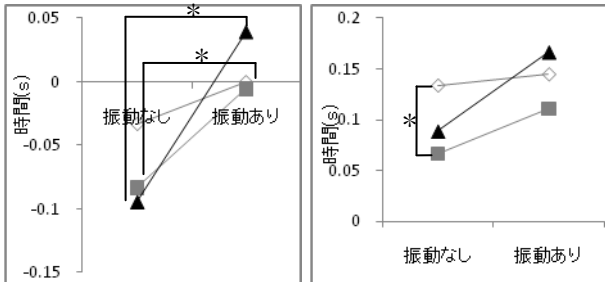
入力時間誤差は33°C、48°Cステップ波形タスク中に振動あり条件で有意に誤差が小さかった(図4b)。一方、33°Cサイン波形タスク中で

は振動なし条件で有意に誤差が小さかった。振動なしのタスク全体の結果では、5℃条件より33℃条件で有意に誤差が小さかった(図4c)。

力入力誤差は 33℃サイン波形タスク中、振動なし条件で有意に誤差が小さかった。



(a)総指伸筋 ステップ波形タスク



(b)入力時間誤差 ステップ波形タスク (c)同左 タスク全体

図4 実験結果

□考察

本研究では冷却によって入力時間誤差が大きくなったが、Nowak, et al.(2003)では力発揮のタイミングは維持された。これは本研究が指先のみで微小な力制御を行うタスクであったのに対し先行研究は非冷却部位である腕を大きく動かすタスクであったため、非冷却部位の固有受容入力の情報量に違いがあったためと考えられる。

5℃条件で振動の影響がみられなかったのは本実験の振動周波数に感度の高いマイスナー小体や圧力に反応するメルケル盤など、皮膚表層にある受容器が冷却により機能が低下したためと考えられる。

33, 48℃のステップ波形タスクの振動あり条件でタスクパフォーマンスが高く筋活動がなめらかであり、振動刺激の有効性が示唆された。

■実験Ⅱ

実験Ⅱでは物体をつかんだまま動作を行うことで発生する指先の触覚刺激を振動と定義した。この振動が指先の力制御に与える影響を調べ、実験Ⅰでの精密なタスクとの比較検討を目的とした。

□方法

なにげなくものを持つ時にように極限まで脱力するタスクを2種類設定した。触覚評価オブジェクトの上部をつかみできるだけ脱力して静止する静止タスク、そのまま腕を肩から前後に振る動作タスクである。

被験者は健康な大学生10名、全員利き手でタスクを行った。

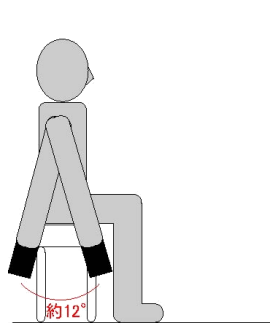


図5 タスク姿勢

触覚評価オブジェクトは直径 50mm のアルミ円筒を用意し、上部に厚さ 1mm のアルミ板を巻きつけたものを含め、全部で9条件だった。

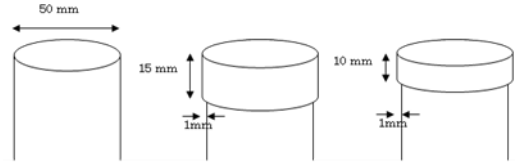


図6 触覚評価オブジェクト

左:アルミ板なし 中:アルミ板 大 右:アルミ板 小

前腕4か所(第一背側骨間筋、短母指屈筋、浅指屈筋、総指伸筋)の筋電位を測定した。姿勢維持などの影響を取り除くため静止タスクを基準とした筋活動増加率を指標とした。VAS 主観評価では「持ちやすさ」についての評価をとった。

□結果

総指伸筋の筋活動増加率は、33℃と 57℃の平均で、アルミ板ありオブジェクトよりなしオブジェクトの筋活動増加率が高い有意傾向があった。

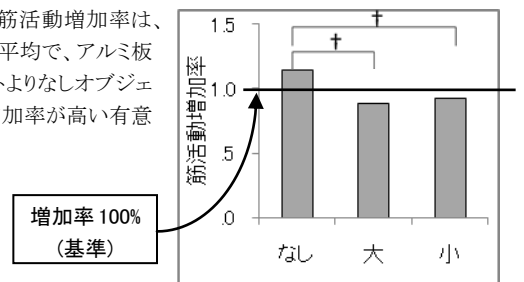


図7 筋活動増加率 総指伸筋 33℃と 57℃の平均

主観評価ではアルミ板なしオブジェクトと比較してありオブジェクトで評価が高いという結果だった。

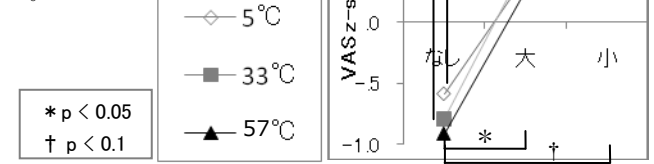


図8 主観評価 z-score

□考察

33℃、57℃のアルミ板ありオブジェクトで静止タスク中よりも動作タスク中の方が筋活動が小さかったことから、動作によってアルミ板のエッジと指先の皮膚の間に動きが生じ、皮膚感覚が鋭敏になり、一層脱力が可能だったと考えられる。

■総合考察

5℃条件では実験Ⅰ、Ⅱとも振動による影響はなかった。皮膚の冷却によって特に皮膚表層にある機械受容器の機能が低下し、振動・動作の検知がうまくいかなかったためと考えられる。一方 33℃以上では実験Ⅰ、Ⅱとも振動によって筋活動が効率化した。指先の皮膚とオブジェクトの間に動きが生じ、皮膚感覚によるフィードバック情報が増加し、最適な力制御につながったためと考えられる。

実験Ⅰでは物体が振動し、実験Ⅱでは被験者自身が動作を行うという、異なる振動刺激を与えたにもかかわらず、どちらも同様に力制御に影響した。手や腕を動かしながら振動面を精密に操作することが可能であり、振動をフィードバックとする有効性が示唆された。例えばタッチパネル上を指先で物理的になぞったとき、ボタンがあるように振動する入力機器などに応用できるのではないかと考えられる。

■参考文献

[1]D.A. Nowak, et al. : “Digit cooling influences grasp efficiency during manipulative tasks”, Eur J Appl Physiol 89 (2003) 127-133
 [2]原田愛子ら : “温度と振動による皮膚の感覚刺激が指先の精密な力制御に与える影響”, 日本人間工学会関東支部第 40 回大会(2010)