

ふくらはぎの筋肉疲労が 身体動揺を用いた人物対応付けの精度に与える影響調査

Influence of calf muscle fatigue when identifying people using body sway

児島昌也 西山正志 岩井儀雄 (鳥取大学)
Masaya KOJIMA Masashi NISHIYAMA Yoshio IWAI

1 はじめに

安心安全な社会の実現のため、カメラ映像を用いた人物対応付けの技術が求められている。人物を正確に対応付けるためには、個人を見分けるための手掛かりをカメラから取得する必要がある。その手掛かりとして、カメラ映像中の立ち止まる人物の身体動揺に注目されている。身体動揺とは、人間が体を静止させたとしても、自然に発生する微小な動きである。Kamitaniら[1]は、身体動揺が、人物対応付けの手掛かりとして、有効であることを示した。ただし、人物の筋肉疲労は存在しないという条件の下で、精度を評価していた。

人間は激しい運動を行った際、筋肉疲労の状態になる。この筋肉疲労は、身体動揺に変化を引き起こすことが、身体運動学の分析研究[2],[3]で述べられている。このため、筋肉疲労は、図1のように、身体動揺を用いた人物対応付けの精度を低下させる可能性がある。例えば、フィットネスクラブやスポーツジム等で激しい運動を行った場合、人物が誤って対応付けられると考えられる。ただし、人物対応付けの精度と身体動揺の筋肉疲労との関係は、どの研究でも調査されていなかった。

そこで本稿では、身体動揺を用いた人物対応付けにおいて、筋肉疲労がもたらす精度変化について定量評価を実施する。筋肉疲労として、下半身の身体部位であるふくらはぎに負荷を強く与えた場合を対象とする。以下では、ふくらはぎに負荷を与える前を疲労前と呼び、ふくらはぎに負荷を与えた後を疲労後と呼ぶ。評価結果より、疲労前と比べて疲労後では、人物対応付けの精度が大幅に低下することが分かった。

2 評価方法

2.1 疲労させる身体部位

本稿では、疲労させる身体部位としてふくらはぎを対象とする。ふくらはぎは、膝と足首の間に位置し、身体の後面にある部位である。ふくらはぎの皮膚の下には、腓腹筋とヒラメ筋などが存在する。文献[4]で述べられているように、腓腹筋とヒラメ筋は下腿三頭筋と呼ばれており、足関節を屈曲させたり、姿勢を維持する役割をする。本稿では、疲労前の特徴量を辞書に登録していること

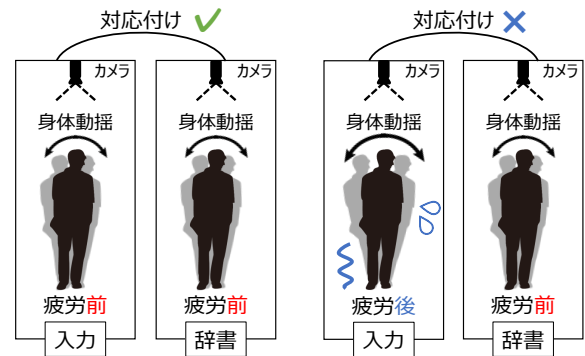


図1: ふくらはぎの筋肉疲労が身体動揺を用いた人物対応付けの精度に与える影響。入力された映像と辞書の中の映像との間に対応付けを行う。疲労の有無で、対応付けの精度が大きく変化する。

を前提とし、次の仮説について評価を行う。

- 疲労後の特徴量を入力とした場合は、疲労前の特徴量を入力した場合と比べて、人物対応付けの精度を低下させる。

2.2 ふくらはぎを疲労させる手順

ふくらはぎを疲労させるために、身体へ負荷を与える流れについて述べる。はじめに、靴を履いていない実験協力者を、床の上に立たせた。規定のリズムで、かかとの上げと下げを交互に行わせた。実験協力者は、この運動を、疲労後の状態になるまで繰り返した。規定のテンポに3回連続で間に合わない場合、もしくは、被験者が自ら中止を宣告した場合に、実験協力者は運動を終了した。ふくらはぎ以外の身体部位へ負荷を与えないように膝はできるだけ曲げないこと、かかを可能な限り高く上げることを、実験協力者に指示した。

2.3 人物対応付けにおける特徴抽出

人物対応付けとは、入力された映像中の人物が辞書の中に存在するか否かを判断する技術である。対応付けの高い精度を得るためには、映像から特徴量を抽出することが重要である。本稿では、先行研究[1]と同じく、映像から身体動揺の移動量を各時刻で算出し、時空間特徴量

を抽出する。特徴抽出の流れをステップ S1～S7 に分けて説明する。

S1 では、カメラを用いて人物を撮影することで、カラー映像を取得する。身体の中でも最も揺れが大きい頭を観察するため、カメラを頭上に設置する。人物はカメラの真下に直立姿勢で立つと仮定する。S2 では、カラー映像から頭領域のシルエット映像を抽出する。シルエット映像では、頭領域の画素値を 1 とし、それ以外の領域の画素値を 0 とする。S3 では、参照時刻のシルエット画像を決定する。シルエット映像の中で、様々な時刻のシルエット画像と類似するシルエット画像を求める。そのシルエット画像が撮影された時刻を参照時刻とする。S4 では、各時刻における頭領域の揺れを抽出するため、差分画像を生成する。各時刻のシルエット画像と参照時刻のシルエット画像との間で、画素値の差を求める。S5 では、空間方向の頭形状の違いを見るために、頭領域の分割を行う。頭領域の中心から放射状に I 個のブロックに分割する。S6 では、時間方向の頭領域の揺れ方の変化を抽出するため、各時刻の移動量を算出する。各ブロックにおいて、差分画像の画素値の合計が、各時刻における移動量である。S7 では、人物対応付けのための特徴量を抽出する。各ブロックにおいて、移動量の時系列信号に対して、パワースペクトル密度 (PSD: Power Spectral Density) を算出する。全てのブロックの PSD を連結し、特徴量を決定する。

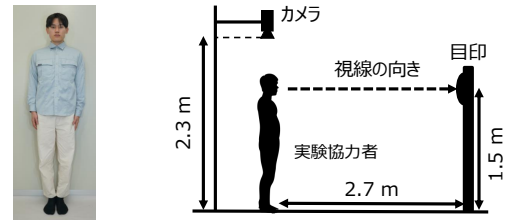
3 実験

3.1 評価データセット

ふくらはぎの疲労による人物対応付けの精度への影響を評価するために、疲労前と疲労後で人物の撮影を行った。実験協力者は 20 名 (年齢: 22.6 ± 1.5 歳, 身長: 168.3 ± 5.6 cm, 体重: 60.4 ± 10.9 kg) であった。実験協力者の服装は作業着とし、靴を履かないとした。撮影中は図 2(a) の直立姿勢を維持することを実験協力者に指示した。本実験の撮影環境を図 2(b) に示す。実験協力者に、カメラの真下に立ち、目印を注視することを指示した。

疲労前 2 回と疲労後 1 回の映像を撮影した。以下では、疲労前で 1 回目の映像を V_{B1} 、疲労前で 2 回目の映像を V_{B2} 、疲労後の映像を V_A と呼ぶ。映像の時間長を、1 回につき 120 秒とした。 V_{B1} と V_{B2} の撮影の間、および、 V_{B2} の撮影と負荷の間に、60 秒の休憩を入れた。 V_A では、実験協力者が疲労後の状態になって 15 秒以内に撮影を開始した。解像度が 1920×1080 画素、フレームレートが 30fps のカメラを用いた。頭領域を含む映像を 300×300 画素でトリミングを行った。

かかと上げ運動による疲労の結果について述べる。2.2



(a) 直立姿勢の人物

(b) 撮影環境

図 2: 撮影条件

節のかかと上げ運動で、実験協力者を疲労後の状態とさせた。かかと上げの規定リズムを、毎分 100 回に設定した。

3.2 人物対応付けの性能の評価

まず、2.3 節の手法について、実験で用いた具体的な設定について述べる。 V_{B1} の特徴量を疲労前の辞書、 V_{B2} の特徴量を疲労前の入力、 V_A の特徴量を疲労後の入力として用いた。2.1 節で述べた仮説に基づいて、疲労前の特徴量をを入力した場合と疲労後の特徴量をを入力した場合で、それぞれ識別精度を算出した。辞書に含まれる人物に識別精度が依存するため、実験協力者 20 人の中からランダムに選んだ 18 人のサブセットを生成した。サブセットを 10 個生成し、それぞれのサブセットで識別精度を求め、平均と標準偏差を算出した。精度の評価指標は一位正解率とした。識別器として最近傍法を用い、距離計算にはユークリッド距離を用いた。

対応付けした結果として、疲労前の入力は 92.9 ポイントで、疲労後の入力は 33.3 ポイントであった。疲労前の入力と比較して、疲労後の入力は、精度を約 59 ポイント低下させることが分かった。識別精度の低下に、統計的な有意差があるかどうかを確認するため、検定を適用した。マン・ホイットニーの U 検定を適用し、有意水準は 1% とした ($p < .01$)。その結果、疲労前の精度と疲労後の精度との間で、有意差が見られることを確認した。

参考文献

- [1] T. Kamitani, H. Yoshimura, M. Nishiyama, and Y. Iwai. Temporal and spatial analysis of local body sway movements for the identification of people. *IE-ICE Transactions on Information and Systems*, Vol. 102, No. 1, pp. 165–174, 2019.
- [2] Y. Gimmon, R. Riemer, L. Oddsson, and I. Melzer. The effect of plantar flexor muscle fatigue on postural control. *Electromyography and Kinesiology*, Vol. 21, No. 6, pp. 922–928, 2011.
- [3] N. Vuillerme, N. Forestier, and V. Nougier. Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 34, No. 12, pp. 1907–1912, 2002.
- [4] J. Piscopo and J. A. Baley. *Kinesiology The Science of Movement*. John Wiley & Sons Inc, 1981.