立位作業姿勢の違いによる前方への自発的な踏み出しやすさの比較

○菅間 敦（労働安全衛生総合研究所）

瀬尾 明彦（東京都立大学システムデザイン学部）

Effects of Working Postures on Lower-Limb Mobility during a Voluntary Forward Step

Atsushi SUGAMA (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan),

Akihiko SEO (Faculty of Systems Design, Tokyo Metropolitan University)

1. はじめに

国内の労働災害では、作業者がバランスを崩し、転倒や転落に至る事例が多くみられる。身体のバランス保持の可否は、身体動揺の大きさとバランス制御能力の関係に依存する。作業中の転倒・転落を防ぐには、過大な身体動揺を誘発する作業を避けることや、バランス制御能力の低下を避けることが重要となる。人のバランス制御における主要な動作戦略の一つとしては、ステップ戦略が知られている¹⁾。これは、その場での姿勢保持が困難になると、身体重心から離れた位置で外力を得るため足を踏み出し、支持面を作り変える動作である。この踏み出し動作の素早さは、バランスが崩れた際の迅速な安定化のために重要であると考えられる。一方、作業者は実施する作業に応じて、しゃがみや、背伸び、重心を左右どちらかに傾けるなど多様な姿勢をとるが、このような作業姿勢が踏み出し動作に与える影響は明らかにされていない。そこで本研究では、上体の作業姿勢の違いが足の踏み出しやすさに与える影響を、動作時間と足圧中心軌跡から評価することを目的とした。本稿では5名の分析結果について報告する。

2. 方法

2.1 実験方法 実験参加者は21歳から24歳までの外科的既往歴のない大学生5名（男性3名、女性2名）とし、年齢、身長、体重の平均および標準偏差はそれぞれ 22.4 ± 1.1 歳、 163.9 ± 9.1 cm、 58.2 ± 11.7 kgであった。

実験課題は、合図の後にできる限り速く右足を30 cm前方へ随意的に踏み出すものである（図1左）。実験参加者は床反力計（Kistler Instrument Corp., 9286B）上で指定された作業姿勢をとった後、光源による視覚刺激を合図として踏み出し動作を行った。右足と左足は別の床反力計上に乗せ、踏み出し位置とその距離は床面につま先位置の印をつけることで統制した。また上肢姿勢の統制のため、段ボールの空箱を保持させた。実験条件で

ある作業姿勢は、直立姿勢に加え、しゃがみ姿勢（大転子高を直立姿勢の50%に統制）、前傾姿勢（体幹を鉛直から45度前傾）、右重心姿勢、左重心姿勢の5水準とした（図1右）。測定は各条件で各3回ずつ、計15回行う被験者内計画とした。床反力計で測定したデータは計測ソフト（DKH, TRIASII）で処理し床反力作用点（Center of Pressure, 以下CoP）を算出し、その移動距離と移動速度を求めた。また主観評価として、「踏み出し動作の困難さ」について5段階（1：踏み出しやすい、5：踏み出しにくい）で評価させた。

図1 踏み出し動作および姿勢条件

2.2 動作フェーズの分類 先行研究²⁾と同様に、床反力計の鉛直荷重データに基づいて動作時間を分析した。合図の後、鉛直荷重が基準値から3標準偏差だけ変化した瞬間を動作開始とし、右足離地までをWeight shift phase (WSP)、右足離地から右足の再接地までをSwing phase (SP) とした。CoPの軌跡長と平均速度をフェーズ別に求めた。

3. 結果

3.1 動作時間 図2にWSPとSPの動作時間（左縦軸）とその比（WSP動作時間÷SP動作時間、右縦軸）を示す。WSPの動作時間は姿勢条件によって約0.30～0.55 sで変化し、左重心姿勢で短く、右重心姿勢としゃがみ姿勢で長かった。SPの動作時間は姿勢条件によって約0.15～0.25 sで変化し、右重心姿勢としゃがみ姿勢で短かく、左重心姿勢で長かった。次に、両フェーズの動作時間の比は、直立姿勢と比べ、右重心姿勢としゃが

み姿勢で値が増加し、左重心姿勢で減少する傾向がみられた。

3.2 CoPの軌跡長および平均速度 WSPとSPのCoPの軌跡長と平均速度の結果を図3に示す。CoP軌跡長について、WSPでは、直立姿勢と比べて左重心姿勢としゃがみ姿勢で短く、右重心姿勢で長かった。一方SPでは、右重心姿勢で減少し、その他の姿勢では増加する傾向がみられたが、条件間の差は2.5 cm程度にとどまった。CoP平均速度は軌跡長と似た傾向を示したが、WSPでは直立条件と比べ全ての条件で低下していた。一方、SPではしゃがみ姿勢において直立姿勢よりも速度が上昇していた。

3.3 主観的評価 図4に主観的な踏み出し動作の困難さの結果を示す。直立姿勢と比べ、前傾姿勢、右重心姿勢、しゃがみ姿勢で踏み出しにくさが上昇していた。

4. 考察

各フェーズの動作時間は、CoPの総移動距離を平均移動速度で割った値に概ね等しかった。したがってCoP移動距離の延長は動作時間の延長に、平均速度の増加は動作時間の短縮にそれぞれ寄与する。一方、WSPとSPの動作時間には負相関の関係がみられ（相関係数 $r = -0.70$ ）、動作時間の比と主観的な動作の困難さが中程度の相関関係（ $r = 0.60$ ）にあった。このことから、WSPの動作時間は長いほど踏み出し動作が困難であるのに対し、SPの動作時間は短いほど動作が困難と判断される傾向にあった。したがってWSPの動作時間が長い場合、両足支持期から片足支持期への移行段階において体重移動や姿勢変化が何らかの原因で妨げられたと考えられる。一方、SPの動作時間は片足支持期の体重移動に関係しているため、SPの動作時間が短縮した場合は、何らかの原因によって片足支持が不安定化し、倒れるように両足支持期へ移行している可能性が考えられる。

次に姿勢による影響について考察する。はじめに右重心姿勢では、CoPが初めから右足側にあったため、片足（左足）支持へ移行するためのCoP移動距離が延長し、WSPの時間が長くなったと考えられる。また右足に体重が乗った姿勢の保持中は股関節の伸展トルクが必要とされているが、右足の持ち上げには股関節の屈曲が求められる。したがって主動作筋の切り替えが必要となり、速やかな動作が困難であったと考えられる。同様に

前傾姿勢においても股関節伸展トルクが生じていたため、直立姿勢と比べ踏み出しにくさが増加したと考えられる。一方、左重心姿勢はあらかじめ重心が左足側にあるため、WSPでは重心移動が少なく済みWSPの時間は短くなったと考えられる。しかし右足の振り出しに床反力を利用しにくいためSPにおいて慣性力を使わずに股関節屈曲を行う必要があり動作時間が延長したと考えられる。しゃがみ姿勢では、膝を深く屈曲した状態となることで片足での体重支持が困難となり、左右方向のCoP移動の制限と速度低下がみられたと考えられる。結果として完全な片足支持への移行ができず、すぐに踏み出した右足をついて両足支持をする必要に迫られたと考えられる。

図2 動作フェーズ別の踏み出し動作時間

図3 CoPの軌跡長および平均速度

図4 主観的な踏み出し動作の困難さ

参考文献

- 1) Shumway-Cook, A., Woollacott, M.H.: Motor Control: Translating Research into Clinical Practice, 4th ed.; Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2013.
- 2) Sims, K.J. and Brauer, S.G.: A rapid upward step challenges medio-lateral postural stability, Gait & Posture, Vol. 12, No. 3, pp. 217–224, 2000.