

## 知覚不可能な支持基底面の変化が立位姿勢時の姿勢制御戦略に与える影響

## Effect of inclined support surface on postural strategy during little platform translation

○ 河野洵 (芝浦工業大学) 山本紳一郎 (芝浦工業大学)

Jun KAWANO, Shibaura Institute of Technology  
Shin-Ichiro YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

**Abstract:** There are many attempts to investigate the attitude control change during standing. No study to perform the application of the change and the disturbance of the supporting surface at the same time. In this study was to investigated the attitude control strategy when applied disturbance by changing the support surface. Taking into account the consciousness of the subject at that time. In addition, the presence or absence of visual information also it was taken into account. 8 young adults ( $21.5 \pm 0.5$ y) participated in this study. Participants stood on the force plates. The support surface was changed, and applied the disturbance. As a result, each parameter by the disturbance intensity changes without influence of the supporting basal plane. Ankle moment was changing in the support surface that cannot be perceived. These results suggested that it was changed to involuntary the stable posture control strategy.

**Key Words:** Posture, surface, Stiffness, Center of Mass

## 1. 研究背景・目的

超高齢社会を迎えている我が国において、高齢者の転倒が問題として挙げられる。この背景には、加齢に伴うバランス機能の低下が考えられている。そのため立位姿勢時の姿勢制御を調査することは、転倒対策に有用である。先行研究では動的な立位姿勢条件の例として、Buchananらが0.1から1.25[Hz]の周波数範囲内で被検者の身体を受動的に平行移動させる外乱印加実験を行い、身体に作用する力に働く頭部、体幹と下肢の強調パターンが外乱周波数の違いによって変化することを報告している<sup>(1)</sup>。また、Sasagawaらによると静止立位時に支持基底面を背屈、底屈に変化させると、筋、靭帯、腱と関節構造の機械的特性に起因する passive component や神経系調節に起因する active component が支持基底面の状態に伴って変化するという報告もあり<sup>(2)</sup>、支持基底面の状態に対する姿勢制御系の適応もバランス機能制御の重要な要因であると考えられる。これらの研究では知覚が可能な支持基底面の変化であり、随意的な姿勢制御の影響が大きいと考えられる。そこで筆者らは被検者が知覚することのできない支持基底面変化で実験を行うことにより、不随意的な姿勢制御戦略を検討することができると考えた。

したがって本研究では、支持基底面を被検者に知覚されない程度に変化させた条件下で水平方向の並進外乱を正弦波状に印加したときの基底面と周波数の変化が姿勢制御戦略に与える影響について検討した。

## 2. 実験手順

被検者は成人男性8名 (age:  $21.5 \pm 0.5$ [yrs], weight:  $61.75 \pm 3.4$ [kg], height:  $168.5 \pm 6.3$ [cm])。外乱印加装置は六軸パレルリンク機構のモーションベース(COSMATE製, MB-150)を使用し、その上に床反力計を設置して足圧中心を求めた(Fig1)。質量中心(Center of Mass: COM)と stick figure, 頭部の振幅を算出するため、被検者の身体左右12ヶ所(中足骨・外踝・外側踝・大転子・上前腸骨棘・肩峰)と頭部(頭頂・後頭部)に反射マーカを取り付け、三次元動作解析システムを用いてマーカ位置を計測した。また、被検筋は右脚の内側腓腹筋、前脛骨筋とし、筋活動電位を記録した。サンプリング周波は三次元動作解析システムを200[Hz]、筋活動電位を1000[Hz]とした。実験のプロトコル

は水平(LV: Level), また底屈(TD: Toe Down), 背屈(TU: Toe Up)の状態の角度を1.5[deg]とした。支持基底面の角度変化、方向はランダムに印加した。被検者を上述した支持基底面に静止立位で維持させ、0.2[Hz]または0.8[Hz]の水平方向の並進外乱を正弦波上にランダムに印加する実験を行った。全ての試行を終えた後に閉眼(EC: Eye Close)した状態で同様に実験を行った。COM, 足関節角度, 股関節角度は三次元動作解析システムより得られたマーカ位置座標から算出した。相互相関解析(cross-correlation function: CCF)により相関係数を算出し、ピーク値を Correlation Coefficient: CC, それに対応する時間ずれを Time Shift: TS と定義した。

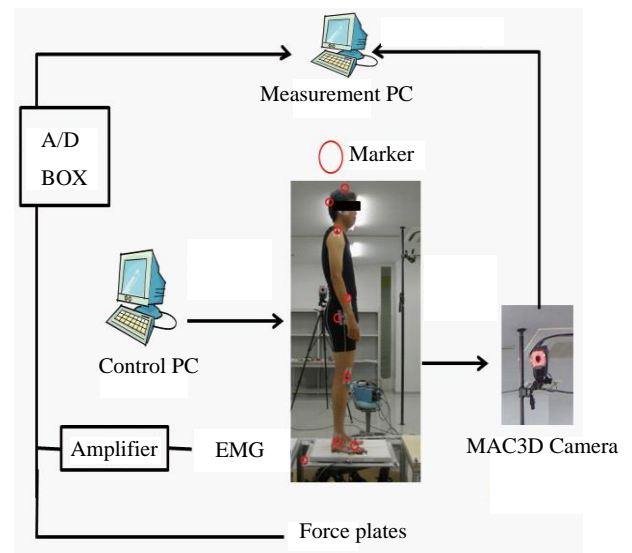


Fig.1 Experimental set-up

## 3. 結果・考察

Fig.2 に支持基底面が水平の状態における0.2[Hz], 0.8[Hz]の並進外乱を印加した際の stick figure を示した。0.2[Hz]ではMB-150の動きと同様に頭部が移動し、0.8[Hz]では頭部を空間に固定する傾向がみられた。この結果は支持基底面の変化に関わらずみられたため、周期的な外乱に対して体幹・頭部セグメントを空間に固定させるようにふるまうというBuchananらの報告を支持する結果となった。

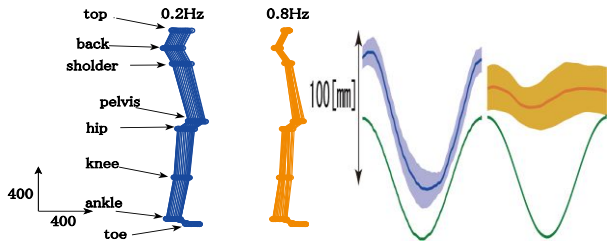


Fig.2 Stick picture and head amplitude

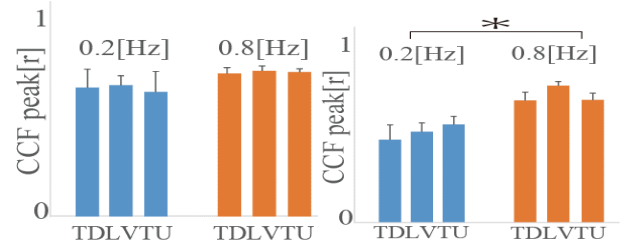


Fig.5 CCF peak value

Fig.3 に外乱周波数 0.2[Hz]の MB と COM, COP, COM 速度, 筋活動の典型例を示した. 静止立位時の COM と COP の変化と MG の活動は律動的であり類似性が高い傾向がある.

CCF 解析によりこれらの関係性を定量化した結果を Fig.4.5 に示した. COP と MG では 0.2Hz と 0.8Hz とともに相関値が高く, TS が負の値であることから MG が COP より先行する結果であった. さらに, COM 速度と COP の相関値は共に正の相関であり, 0.8Hz の相関値は 0.2Hz と比較して有意に大きかった. これは COM の前方速度を持ったときに MG の活動により後ろ向きトルクを生じさせることを意味するため, 両者の関係性は身体重心速度の変化に応じた MG の適切な筋活動, すなわちフィードバック制御を示唆している. 今回の結果では MG ではなく COP を用いたが, COP 位置変化は足関節周りのトルクの挙動を反映するものであり, COM 速度と COP 位置の相関値は足関節トルクによる適切なフィードバックを評価する指標になる.

次に周波数毎の持持基底面の足関節モーメント, スティフネスを Fig.5 に示した.0.2[Hz]においてすべての基底面に有意差があり, LV で最も大きな値となった. また, 0.8[Hz]では LV で TD と有意な差が見られた.スティフネスにおいては 0.2[Hz]においてはどの基底面においても傾向が見られたが, 有意差は見られなかったが, 0.8[Hz]においては LV で TD と有意な差が見られた. フィードバック機構とスティフネスには重要な関係があり, 神崎素樹らは高齢者と若年者では高齢者でフィードバック制御の衰えが確認された. また, 劣ったフィードバック制御を力学的制御機構により補償していることを示唆した<sup>(3)</sup>. これらの結果から支持基底面にはスティフネスを変化させる影響があり, CCF 値とスティフネスの有意差を求めることにより, 転倒防止トレーニングに応用できる可能性があると考えられる.

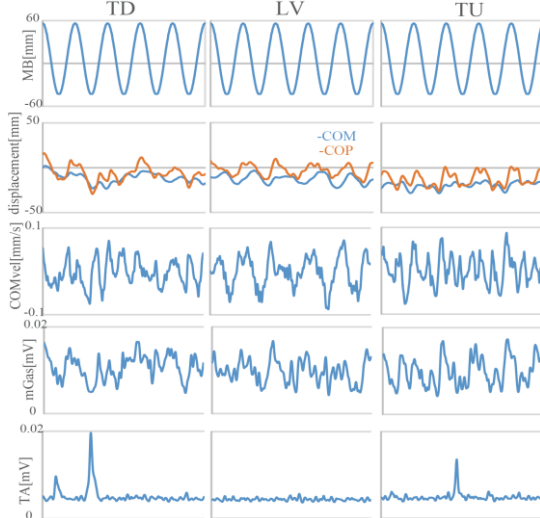


Fig.3 Time-series data

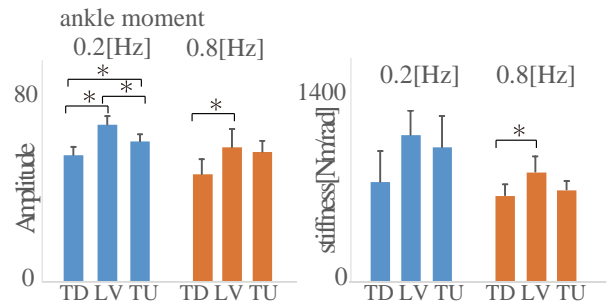


Fig.4 Ankle moment (left) and stiffness value (right)

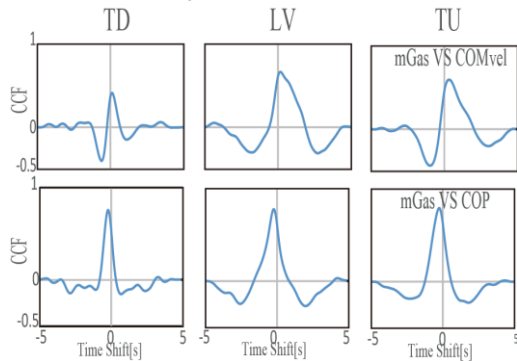


Fig.4 CCF Analysis

4. まとめ

2つの周波数により外乱を印加したが, これらは支持面の影響無しに各パラメータは変化した. また支持面を3つの条件で被検者の知覚できない角度変化においても, パラメータは変化する. ヒトは不随意的に姿勢の安定性を保つために姿勢制御戦略を変更したことが示唆される. 今後は被検者の意識を考慮した実験を行い, 支持面の影響から意識の有無の調査を行い, 随意と不随意的の姿勢応答の調査を行う.

参考文献

- (1) J. Buchanane et al, "Emergence of Postural Patterns as a Function of Vision and Translation Frequency" J.Neurophysiol.81: 2325-2339,1999
- (2) S.Sasagawa et al, "Balance control under different passive contributions of the ankle extensors: quiet standing on inclined surfaces." Exp Brain Res 196:537-544
- (3) 神崎素樹, 政二慶, 福永哲夫, "高齢者の立位平衡機能低下に及ぼす力学的補償機能の解明", 第22回健康医科学研究助成論文集, 平成17年度 pp31~42,2007.3