

02-14

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 surface on postural strategy during anterior-posterior passive sway

○ 石澤昌典 (芝工大) 田部井秀明 (芝工大) 小幡博基 (東大) 山本紳一郎 (芝工大)

Masanori ISHIZAWA, Shibaura Institute of Technology

Hideaki TABELI, Shibaura Institute of Technology

Hiroki OBATA, The University of Tokyo

Shin-ichiroh YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology University

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the influence of inclined surface on a posture strategy when it impressed sinusoidal support surface translations. Eight healthy adults maintained balance in stance during sinusoidal support surface translations in the anterior-posterior direction at two different frequencies (0.2 and 0.8[Hz]) and at three different base of support condition (LV: Level, TD: Toe Down, TU: Toe Up). As kinematic data, at slow frequency subjects ride the platform depending on the movement of platform itself, and at fast frequency subjects fix their head and center of mass (COM) in space. As kinetic data, at slow frequency the ankle moment amplitude is similar among all surface conditions, and at fast frequency the ankle moment amplitude is significantly larger TU than LV. Effect of inclined surface on postural strategy changed according to frequency of sinusoidal support surface translations.

**Key Words:** Postural strategy, Passive sway

1. 研究背景・目的

高齢者の転倒の背景には、バランス機能の低下が考えられており、バランス機能を静的だけでなく、動的な立位姿勢条件でも検証する必要がある。

動的な立位姿勢条件の例として Buchanan らは 0.1 から 1.25[Hz]の周波数範囲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、外乱周波数の違いにより身体に作用する力に適應するよう頭部、体幹と下肢に協調パターンの変化を報告した<sup>[1]</sup>。さらに、Ferry らは頭部セグメントを異なる周波数の target に追従させて前後運動をするように指示し、随意的な身体前後動揺を引き起こした結果、周波数により足関節と股関節の協調パターンが変化すると報告した<sup>[2]</sup>。これらの先行研究では感覚系の情報の変化が姿勢制御戦略に影響を与えることを示唆している。また、Sasagawa らによると静的な立位姿勢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 や神経系による調節に起因する active component が支持基底面の状態に伴い変化すると示唆している<sup>[3]</sup>。このように、ヒトの立位姿勢は様々な感覚フィードバックの統合により姿勢の安定性を保っており、感覚系からの情報の変化が姿勢制御戦略に影響を与えている。そのため、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にも関わらず、支持基底面の状態を考慮した動的な研究は筆者の知る限りない。

そこで、本研究の目的は、支持基底面を変化させた条件下で水平方向の並進外乱をサイン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の影響について検討した。

2. 実験方法

2-1 実験手順

被検者は健康成人男性 8 名 (age:22.9±1.6[year], height:171.1±5.1[cm], weight :64.0± 1.7[kg])とした。

実験のシステム構成を Fig.1 に示した。外乱印加装置は六軸パラ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(KISTLER,type:9286AA)を設置して垂直床反力(Vertical component of Ground Reaction Forces : VGRF)を計測し、足圧中心(Center of Pressure:COP)を求めた。質量中心(Center of mass:COM)と足、股関節角度変化を算出するため、被検者

の身体左右 12 カ所 (中足骨・外踝・外側踝・大転子・上前腸骨棘・肩峰)と頭部、さらに、Platform の動きを計測するために MB-150 に反射マーカを取り付け、三次元動作解析システム(Motion Analysis 製, HWK-200RT)を用いてマーカ位置を計測した。サンプリング周波数は反射マーカ計測カメラを 200[Hz]、床反力計を 1000[Hz]とした。

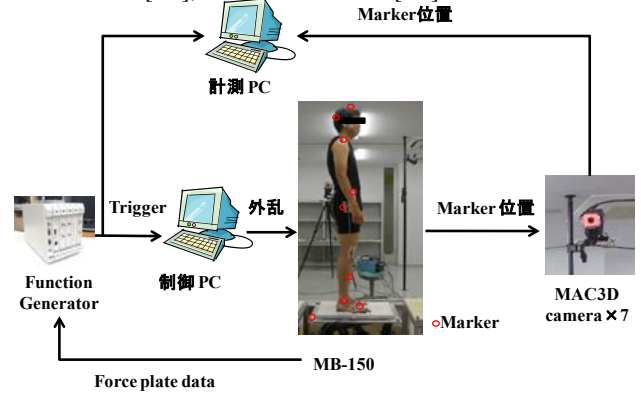


Fig.1 Experiment System

実験プロトコルは Fig2 で示すように水平(LV: Level), 底屈(Toe Down : TD), 背屈(Toe UP : TU)の状態に 6[deg]でランダムに変化させた支持基底面上に被検者を静止立位で維持させ、0.2 または 0.8[Hz]の水平方向の並進外乱を正弦波上に印加する実験を行った。

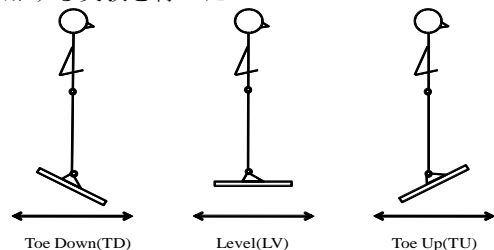


Fig.2 Experiment Protocol

2-4 解析方法

本実験で得られた各パラメータは安定区間として外乱印加後、MB-150 の前後運動の 5 周期目から算出した。また各パラメータの統計処理について一元配置の分散分析を行った。統計の要因は(i)基底面に設定した。分散分析後、有意差が認められた場合、Dunnnett の方法により多重比較を行った。有意水準は P<0.05 とした。

### 3. 実験結果・考察

Fig3A,Cにそれぞれの支持基底面の状態における0.2[Hz], 0.8[Hz]の並進外乱を印加した際のstick figureの典型例を示した。またFig3Bに0.2[Hz], Fig3Dに0.8[Hz]の頭部の振幅の典型例を実線で示した。破線はMB-150の動きである。これらは被検者1名の7周期分のデータを加算平均したものである。Fig3A,Cの横軸は前後方向(Anterior-Posterior), 縦軸は垂直方向を示し, Fig3B,Dの横軸は前後動揺の一周期である。Fig3で示した結果は, 左から支持基底面の状態がTD, LV, TUである。Fig3A,Bより0.2[Hz]ではMB-150の動きと同様に頭部が移動し, Fig3C,Dより0.8[Hz]では頭部を空間に固定する傾向がみられた。このように周波数における頭部振幅の変化はみられたが, 支持基底面の状態の違いによる頭部振幅の変化はみられなかった。このことより, すべての支持基底面において0.2[Hz]の並進外乱ではMB-150の動きと同様に頭部に頭部を揺らす姿勢制御戦略がみられ, 0.8[Hz]では頭部を固定する姿勢制御戦略がみられたため, 支持基底面の変化による足関節の荷重に関連する受容器や筋・腱の受容器からの入力に変化しても, 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<sup>[1]</sup>。

Fig4にそれぞれの周波数と各支持基底面状態の条件における頭部とCOMの振幅を示した。実線が絶対座標系の頭部振幅であり, 破線がMB-150を原点とした相対座標系の頭部の振幅を示した。頭部振幅では, 絶対座標において0.2, 0.8[Hz]ともに基底面の違いにおいて有意な差が認められなかった。しかし, 相対座標では0.2[Hz]のLVとTU間に有意な増加がみられた。COMの振幅において, 絶対座標では0.2, 0.8[Hz]ともにLVとTU間に有意な差がみられ, 相対座標のCOMは0.2[Hz]のみLVとTU間に有意な差がみられた。また, 絶対座標において, 0.2[Hz]と比較して0.8[Hz]の外乱周波数の際に頭部とCOM振幅は有意に減少した。それに対して, 相対座標では, 0.8[Hz]と比較して0.2[Hz]の外乱周波数の際に頭部とCOM振幅は有意に減少した。このことより, 0.2[Hz]では, 相対座標でより頭部とCOMを安定させる姿勢戦略をとり, 0.8[Hz]では, 頭部を固定し, 明瞭な視覚や前庭感覚系の情報を得るために絶対座標において頭部とCOMを安定させる姿勢戦略をとることが示唆された。

Fig5にそれぞれの支持基底面に対する足関節モーメントと股関節モーメントの振幅を示した。両関節のすべての基底面において周波数を増加させると関節モーメントの振幅は増大した。また, 足関節モーメントでは0.2[Hz]において基底面の状態に対して有意な変化がみられなかったが, 0.8[Hz]のLVとTU間に有意な減少がみられた。これによりTUの状態では, 基底面の状態による筋の足関節底屈筋の長さや張力や, 足底感覚の変化等, つまり固有受容器からの入力の変化により, 足関節モーメントが小さく抑えられたかもしれない。

以上のことから基底面の状態を変化させても0.8[Hz]の外乱周波数では視覚や前庭感覚を安定させることにより空間にCOMを安定させるように振る舞い, 0.2[Hz]ではMB-150上でCOMを安定させるように振る舞うことが示唆された。また, 姿勢制御戦略に対する基底面の影響は外乱周波数の違いにより変化する可能性がある。

#### 参考文献

- (1) J. Buchanan et al: *J. Neurophysiol.*81: 2325–2339, 1999.
- (2) M. Ferry et al: *Exp Brain Res* 180:49–57,2007
- (3) S.Sasagawa et al: *Exp Brain Res* 196:537–544 surfaces,2009

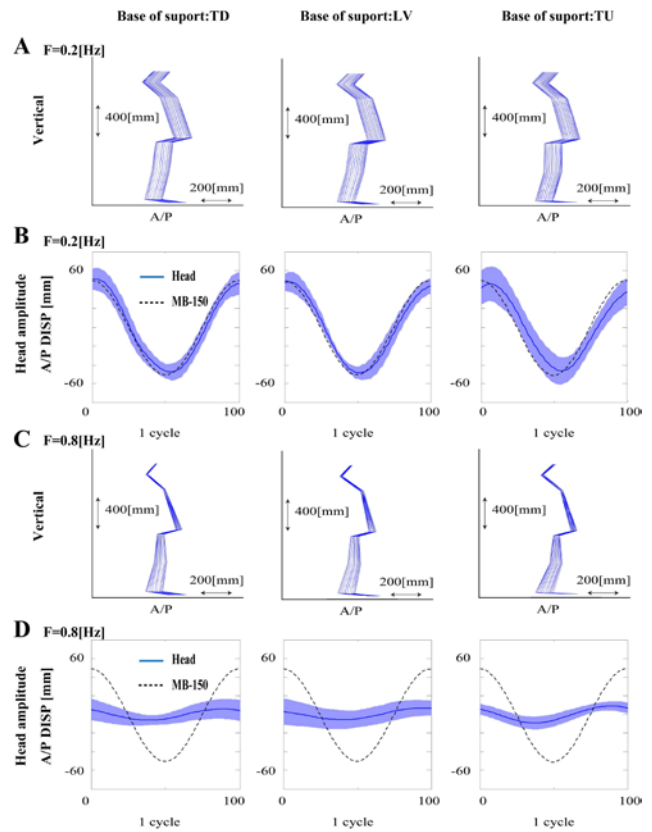


Fig3 Typical example

A, C : Stick figures C, D: head amplitude

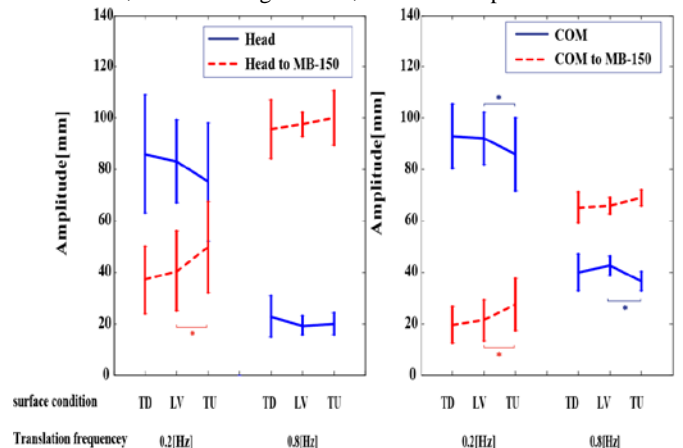


Fig4 Head and COM amplitude

(Left: head, Right: COM)

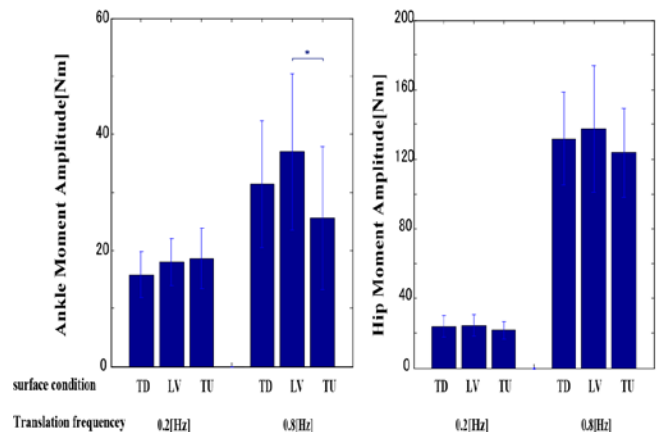


Fig5 Ankle moment and hip moment amplitude

(Left: ankle, Right: hip)