

卒業論文要旨

フォースプレートと慣性センサに基づく安静立位の感覚器重みづけ評価

システム工学群

動的デザイン研究室 1240131 東 大雅

1. 緒言

人は姿勢制御を行うときには感覚器の重みづけが行われると言われている。この感覚器への重みづけには個人差があることが知られており、感覚器への入力の不具合を起こした際には3つの感覚器重みづけの割合の調整を行うことで姿勢制御が行われる。この感覚器の伝達、調整がうまくいかなかった場合、めまいなどの他の障害を誘発することが言われている。この原因を明確にするため個々の感覚器重みづけの違いを知る必要がある。しかし、従来の知見では、感覚器重みづけを具体的に調べることができないことが課題とされている。

バランス評価を行うにあたって、感覚器と制御に対応するように重心位置、頭部加速度、足関節トルクなどを評価する必要がある。我々の過去の研究では、フォースプレートと頭部慣性センサを用いた重心推定法を提案し、簡易かつ一定の精度で評価に必要な情報の推定を行えるようにした。その計測結果を用いて安静立位の評価指標を定めている。そこで本研究の目的として安静立位のバランス評価指標と感覚器重みづけの関係を調べることである。

2. 実験方法

本実験で行う安静立位実験では、フォースプレート（テック技販製 TF-3040）、慣性センサ（テック技販製 IMS-WD）、体性感覚抑制のため低周波治療器（オムロン低周波治療器エレパルス HV-F128）をもちいて被験者は健康者8名を対象に40秒、計8回の計測を実施した。各感覚器への違った重みづけでのバランス評価指標を得るため Method 1 を通常の安静立位測定 [開眼：2回 閉眼：2回] Method 2 を足裏の力の作用点が存在できる範囲の限界まで重心を前側に動かした状態で安静立位時の測定を行う。 [開眼：1回 閉眼：1回] Method 3 を両足首の外側側面に低周波治療器をつけ、被験者がしびれを感じる程度に電気刺激を与えた状態で安静立位時実験 [開眼：1回 閉眼：1回] での3つの方法で行った。

3. バランス評価指標

本研究では文献⁽¹⁾よりフォースプレートと慣性センサの計測から得られた重心変位 (RMS_xb)、x 軸方向への頭部加速度 (RMS_hdx) の増減を基準とし評価を行う。バランス評価を行うにあたって人は重心に動揺の制御をするために COP より COM のほうが直接的な物質質量を表すことができる。つまり、姿勢制御をより明確に評価することができる。また、詳細な特性を得るため文献⁽²⁾で定義された概念を用いる。ここで定義された2つの関節戦略モデルを図1に示す。計測から得られた下半身加速度と上半身加速度からの比率から近似的に関節戦略を定義されて得られた式が以下である。

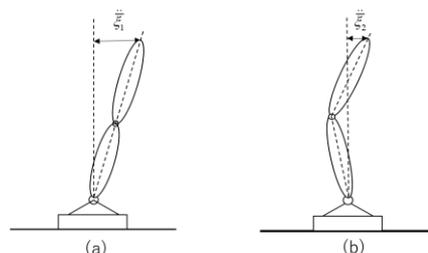


Fig. 1 Model showing joint strategies
(a: Model showing ankle joint strategy b: Model showing hip strategies)

$$\ddot{x} = \bar{V} \ddot{\xi}$$
$$\bar{V} = \begin{bmatrix} \frac{l_1}{L_1 + L_2} & -\frac{J_2 l_1 + m_2 l_1 l_2 (L_1 + l_2)}{d} \\ \frac{L_1 + l_2}{L_1 + L_2} & \frac{J_1 l_2 - J_2 L_1 + m_1 l_1^2 l_2}{d} \end{bmatrix} \quad (1)$$
$$d = L_2 (J_1 + l_1^2 m_1) - L_1 \{ J_2 + m_2 (L l_2 + l_2^2) \}$$

この式から頭部加速度の大きさで正規化されたモード加速度 ξ_1, ξ_2 が求められる。足関節戦略モード加速度を xi1、股関節戦略モード加速度を xi2 と表し、二乗平均平方根をとった値を RMSxi1, RMSxi2 とする。このとき、2つの関節戦略の大きさ比 (Rxi) は

$$Rxi = RMSxi2 / RMSxi1 \quad (2)$$

と表される。さらに頭部加速度に対する2つの関節戦略の相関を Cxi とする。これは股関節戦略で頭部加速度を抑制できているかを示しており、正の相関であれば頭部加速度を抑制できておらず、負の相関であれば抑制していると評価する。また、それに加えて重心変位と重心加速度に基づいた1次関数近似の傾き、勾配である Gradx を用いる。勾配は大きいほど重心変位が小さくなり、身体の剛性が強くなる。これは身体を起こすための復元力の強さを示す。

4. 実験結果

Method1 と Method2 での重心変位 (RMS_xb) をプロットしたものを図2に表す。(Method1:黒 Method2:赤)

結果から重心変位の増減から2つのグループに分かれることが言える。グループごとの評価を行う。表1、表2に各被験者の Rxi を開眼、閉眼で示したものである。関節戦略の観点で Method1 と比べて RMS_xb が増加する被験者は戦略の変動がみられる。これは支持基底面の前傾に傾けることでバランスが崩れ、通常の安静立位で優位にっていた戦略とは違った戦略が刺激させ、戦略の変動がみられたことが言える。また、重心変位と重心加速度のプロット、1次関数近似の傾き、勾配である Gradx を示したものを図3に示す。Gradx

では比較的小きな値を示すことから身体の復元力は低くなることが言える。

RMS_xb が減少した被験者に関して Rxi がともに小さくなっていることから足関節戦略を優先的にとるという制御が行われることが分かる。Gradx では勾配の大きな値をとることからこれらの被験者からは身体の復元力が大きくなることが言える。また、EO, EC に傾向の差はあまり現れなかった。

重心変位 (RMS_xb), x 軸方向への頭部加速度 (RMS_hdx) をプロットしたものを図3に表す。(Method1:黒 Method3:青) Method3 について Method1 と比べて RMS_xb と RMS_hdx の増減の変動があまり見られない被験者が多かった。しかし、関節戦略の大きさ比 Rxi が大きくなれば頭部加速度 (RMS_hdx) は小さくなるという傾向がみられた。また、変動が少ない中、被験者2は周りの被験者とは違った変動をとり、減少傾向がみられた。これは足関節戦略 (RMS_xi1) の値が減少することで起こったものである。足関節戦略モード加速度が小さくなることで身体全身の揺れが小さくなり、体性感覚に重みづけが行われている状態であると考えられる。一方、変化の大きな被験者7は RMS_hdx, RMS_xb どちらの値も大きくなり、身体の揺動が大きくなっている。Rxi はほとんど変化が見られない。

表3に Cxi 開眼の値を示す。これより負の値に近づき変化していることから股関節戦略で頭部加速度を抑制しようと前庭感覚に重みづけを行ったが同時に重心での制御が難しくなり、身体の揺動が大きくなったことが考えられる。このように変動は少なく、実験結果として確信の得られたものではないがバランス制御の変化は個々に違った重みづけをみることができた。

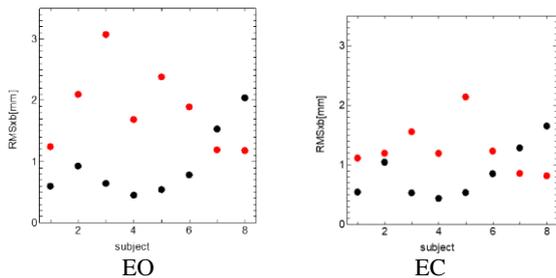


Fig. 2 RMS of MD1 and MD2 center-of-gravity displacements and subjects shown

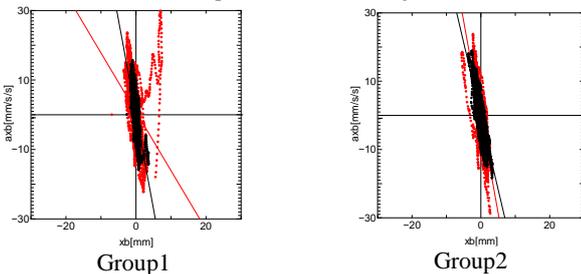


Fig. 3 Plots of center-of-gravity displacement and center-of-gravity acceleration and Gradx

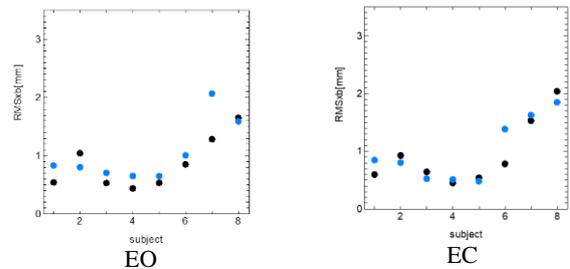


Fig. 4 RMS of MD1 and MD3 center-of-gravity displacements and subjects shown.

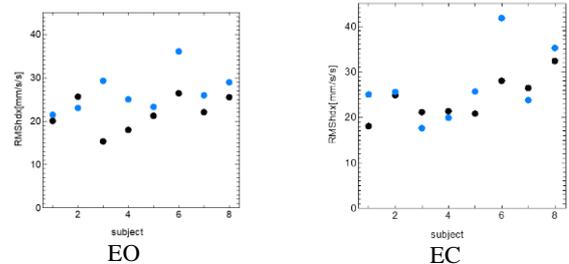


Fig. 5 RMS of MD1 and MD2 head accelerations and subjects shown.

Table1. showing Rxi with open eyes

Subject	Method 1	Method 2	Method 3
1	1.360	1.159	1.393
2	1.411	1.052	1.722
7	1.398	1.182	1.382
8	1.487	0.897	1.126

Table2. showing Rxi with closed eyes.

Subject	Method 1	Method 2	Method 3
1	1.445	1.091	1.234
2	1.277	0.894	1.420
7	1.306	0.609	1.442
8	1.272	0.605	1.204

Table3. showing Cxi with open eyes

Subject	Method 1	Method 2	Method 3
2	0.274	-0.0334	0.288
7	0.370	0.297	0.150

5. 結言

本研究では安静立位での評価指標を提案した。評価するにあたって頭部加速度と重心変位の増減を基準とすることで人よってのバランス制御をグループ分けによって被験者ごとのバランス制御の解析の傾向をつかむことができた。

文献

- (1) 園部 元康, 井上 喜雄, フォースプレート計測に基づく立位時の矢状面質量中心推定 (推定誤差の発生メカニズムと推定精度の評価), 日本機械学会論文集, 85 巻, 877 号(2019)
- (2) Horak, F., and Nashner, L., Central programming of postural movements: Adaption to altered support-surface configurations, Journal of Neurophysiology, Vol. 55, No.6(1986), pp.1369-1381.