

支持面揺動による静止立位時の重心位置の改善効果の検証

システム工学群

知能メカトロダイナミクス研究室 1180152 松村 峻

1 緒言

歩行という動作は人間にとって欠かすことのできない運動の一つである。歩行運動は年を取るにつれて難しくなっていくものであり、難しくなる理由としては筋力の低下によるバランス能力の低下などが挙げられる。歩行運動を行う際のリスクとして転倒があり、転倒による事故は近年大きな問題として扱われている。正常な歩行ができないと転倒のリスクも大きくなっていく。歩行をうまく行えるようになることは注目すべき課題であると考えられる。

正常に歩行ができない方々のリハビリ用の装置として、株式会社テック技販から販売されているBASYS(図1参照)がある。BASYSはリアルタイムに検知した立位姿勢時の重心動揺を本人の知覚にのぼらないレベルで「増幅/減衰」させることで、立位姿勢調整における随意調節と反射調節のバランスを潜在的かつ合理的に調整する姿勢リハビリ用プラットフォームである。私は今回、BASYSによるリハビリの効果のなかでも、歩行能力の改善に注目した。この歩行能力の改善という効果は、BASYSに乗ってリハビリを行った際に重心位置がBASYSを使用する前よりも、前方に移動することによりもたらされるものである。一般的に、重心位置が前方にある方が、歩行がしやすいといわれている。

BASYSによるリハビリにより歩行能力が一時的に改善されることはわかったが、BASYSのどのような機能により重心が前方に移動しているのかはわかっていないのが現状である。重心を前方に移動させる現象に対する。

私の予想としては、揺れに対する人間の復元力の非対称性が関係しているのではないかと考える。人の復元力は、つま先方向とかかと方向は非対称であり、かかと方向よりもつま先方向のほうが大きく、復元力には非対称性がある。かかと方向の復元力が小さいために人は後ろに倒れやすい。したがって、揺動時には重心位置を前方に移動させることにより、後ろに倒れる可能性が考えられる。

この仮説が正しければ、様々な周波数が混ざった圧力中心フィードバックの中で、重心の移動に大きな影響を及ぼしている周波数を見つけることが、効率的に歩行能力の改善することにつながる。そこで、いくつかの周波数を用いて単一周波数揺動実験を行うことで重心移動に効果の高い周波数を調査する。

実験内容としては、被験者に実験機に乗ってもらい支持面を単一周波数で揺動する。そして、その時の圧力中心の位置の変化を見ることにより単一周波数揺動実験における重心位置と周波数との関係性を明らかにすることが可能となる。被験者の動きから揺動と重心移動の因果関係を検討する。

2 単一周波数揺動実験

2.1 周波数の決定

BASYSの揺動の周波数は概ね0~2.0Hzの範囲であることがわかっているため、実験で用いる周波数は0.2, 0.6, 1.0, 1.4Hzの4種類とする。揺動速度を一定にするために振幅を表1のようにそれぞれ定めた。揺動の式を式(1)に示す。

$$\dot{x} = A\omega\cos\omega t \quad (1)$$

2.2 実験方法

モーションキャプチャと床反力計と作成した台車を用いる。再帰性マーカーを7か所貼り付ける。床反力計には、テープでかかとの基準線をつけかかとの位置を統一する。参加者には視線を一点に集中させ体の前で軽く腕を組んでもらい、自然体で直立してもらう。

揺動周波数は、0.2Hz, 0.6Hz, 1.0Hz, 1.4Hzの4種類とし、計測時間は0.2Hzの場合は80秒、0.6, 1.0, 1.4Hzの場合は82秒とする。最初の20秒は自然体で直立してもらい揺動前の重心位置を計測するものとし、そのあとの40, 42秒で単一周波数揺動を行い、残り20秒は揺動後の重心位置を計測するものとする。立て続けにそれぞれの周波数の実験を行うと1番最初に行った周波数による揺動が重心位置に影響を及ぼしている可能性があるため、実験の行う際は実験間隔を5分以上で実験を行った。

表1 Velocity amplitude of sway

| Frequency ω (Hz) | 0.2 | 0.6 | 1.0 | 1.4 |
|-------------------------|-------|------|------|------|
| Amplitude A(mm) | 26.25 | 8.75 | 5.25 | 3.75 |



図1 BASYS



図2 Experiment scene

2.3 圧力中心の変位と質量中心の変位

単一周波数揺動実験における被験者3の圧力中心と質量中心の変位を示す(図3,図4参照). 図3は, 単一周波数揺動実験において揺動前20秒静止時の圧力中心の変位と平均値, 揺動後20秒間静止時の圧力中心の変位と平均値を表している. 揺動前と揺動後の圧力中心の平均値をみることで, 単一周波数揺動実験による重心位置の変化を見ることができ単一周波数揺動実験が重心位置に及ぼす影響を考察することが可能となる.

今回の実験は被験者3人で行った. 圧力中心の初期位置と揺動時の平均は周波数に関係なく被験者それぞれ同じ傾向であった. 被験者1は後方遷移の傾向がみられ, 被験者2, 3においては前方遷移の傾向がみられた. 被験者2, 3における前方遷移の傾向においては, 人間の復元力の非対称性が関係していると考える. 人間の復元力はつま先方向のほうがかかと方向よりも大きいため人間は後方への揺れに弱い. そのため, 揺動をした際に後方への転倒を回避するためにわざと圧力中心を前方に移動させていると考える. 被験者1の後方遷移の傾向については, 股関節の戦略が弱いのか強いのかのどちらかが影響しているのではないかと予想できるが, 現時点ではそれを示すことができない.

図5は, 周波数1.4Hzでの質量中心を比較した図である. 横軸はx軸(矢状面), 縦軸がz軸(鉛直軸)を表す. 右方向が矢状面前方を表す. 図中には, 1自由度系の身体部質量中心(平均を○印), 2自由度系の下半身質量中心(同▽印), 上半身質量中心(同△印)を表す. 青が揺動前の静止時の軌跡, 赤が揺動時の軌跡, 緑が揺動後の静止時の軌跡である. 被験者1は上半身の揺れがほかの被験者に比べて大きい. 一般的に, 1Hzを超えると体が「くの字」に揺れる振動モードが支配的になるため, 上半身の揺れは小さく考えられるが, 被験者1の場合は高周波でも変わらず大きい. 全体的な傾向として被験者2と被験者3は揺動の前後での重心移動は上半身も下半身もほぼ同様に動くのに対し, 被験者1は上半身のほうが, 明らかに移動幅が大きい.

3 結言

単一周波数揺動実験により揺動を与えた場合, 人は重心が移動することが分かった. 被験者と周波数の種類により, 重心が前方, もしくは後方に移動することは異なるが今回の実験結果より前方に移動するケースが多い. BASYSによるリハビリにおいて, 患者の重心位置が前方に移動する現象については, 今回の実験結果により説明することは可能となった. しかし, 今回の実験の目的であった重心位置が前方に移動する理屈を解明するところまでは至らなかった. 理屈を解明できなかったことについては, 研究時間不足や, 被験者の人数が3人ということから, 被験者数に問題があったということが考えられる. 被験者数を増やすことにより, より多くのデータを取得することができ, さらに信用のある実験結果を得ることができると思われる. 今後は, 実際にBASYSを用いて実験を行い, よりリハビリ時に近い環境の下で実験をしていきたい.

参考文献

- (1) 株式会社テック技販 BASYS 製品情報ホームページ <http://www.tecgihan.co.jp/products/basys/>
- (2) 株式会社 ナックイメージテクノロジーホームページ <https://www.nacinc.jp/analysis/motion-capture/mac3d-system/>

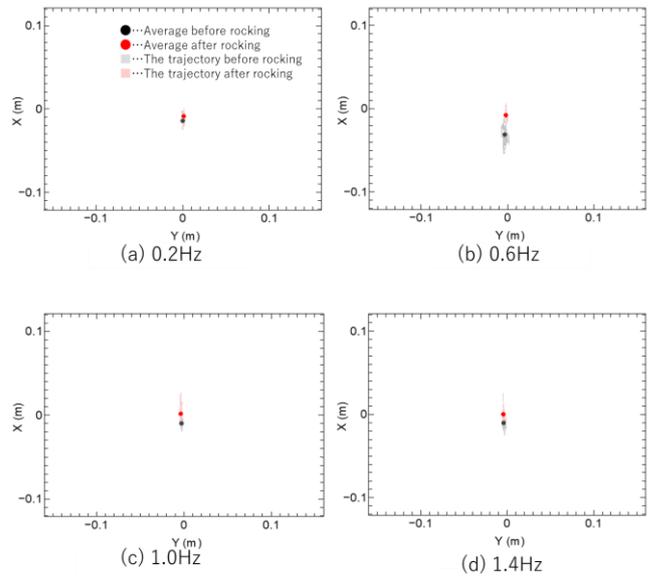


図3 COP

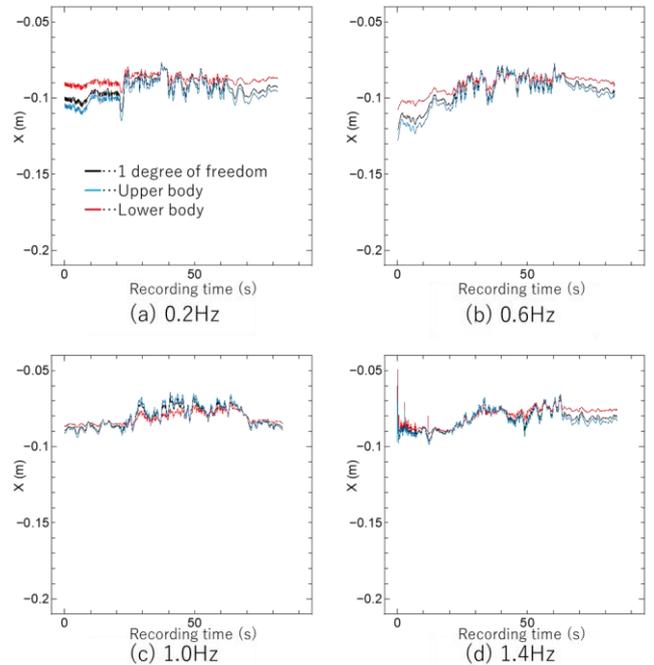


図4 COM

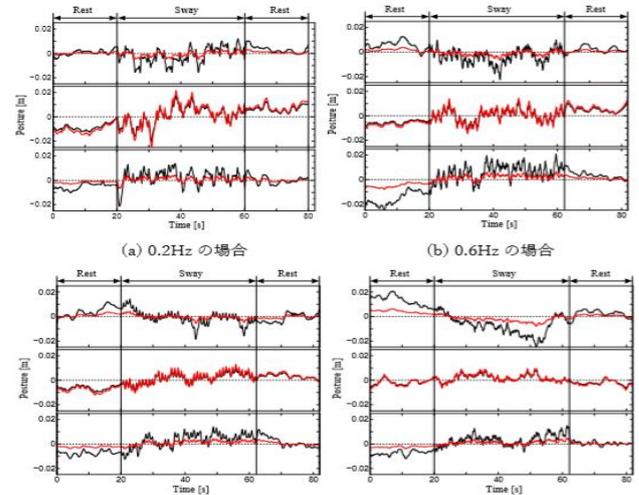


図5 COM transition