

携帯機器の操作姿勢が立位時の身体重心動揺に及ぼす影響

丸山 剛生^{*1}

The influence of operating mobile devices on body balance during standing

Takeo MARUYAMA^{*1}

^{*1} Tokyo Institute of Technology, Dept. of Human System Science
2-12-1-W9-4 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552 Japan

Recently mobile devices are in widespread use. However, there is fear that flexing neck joint while operating mobile devices affects standing posture and body balance in an adverse way. Then the purpose of this study was to clarify the influence of operating mobile devices on body balance during standing. Nine male and a female performed standing on the force platform for three minutes at 6 conditions as follows: 1) with eyes open, 2) with eyes closed, 3) while flexing neck joint with eyes open, 4) while flexing neck joint with eyes closed, 5) while flexing neck joint and holding mobile devices with eyes open, and 6) while operating mobile devices. The center of pressure: COP trajectory was measured using the force platform during standing, and area of a circle of root mean square for COP trajectory was calculated. As compared to among conditions for COP trajectory, it was finding that operating mobile devices didn't impair body balance during standing.

Key Words : Body Balance, Standing Posture, COP Trajectory, Operating Mobile Devices

1. 緒 言

近年、高機能携帯機器が普及している。携帯機器操作時には、携帯画面の注視と指による操作のために、頸部屈曲による頭部傾斜および円背などの姿勢の悪化が懸念される。また、携帯機器操作時の姿勢が平衡機能に及ぼす影響を検討することは、転倒防止の観点からも重要である。

生体の平衡機能は、姿勢の保持や変換を円滑に行うとともに効率的な上下肢の運動の発揮に貢献している。その機能系は、視覚、内耳の前庭による平衡覚、筋の固有知覚からの感覚刺激を得て小脳や脳幹をはじめとする中枢神経系の統合した情報を筋へ出力する一連の過程として捉えられる。実際の出力された結果は、筋トーンズ（不随意の筋の緊張状態）の調節と重心位置の制御として観察することができ、これらは脳の各レベルでの立ち直りや姿勢反射の反応として分類することが可能である。

平衡機能を物理的な現象として抽出するには、支持基底面（立位では両側の足底で囲まれた外周面積に相当）に対する圧力中心点（身体重心を支持面に投影した位置、Center of pressure: COP）の位置とその変化を測定して分析することが有力な手段となり、平衡調節機構を非侵襲的に計測することが可能となる。実際には COP の前後左右方向の偏倚と、COP の連続した位置の変化として表わされる移動軌跡（COP 軌跡）の二つの要素を抽出して定量的に解析することができる。

健康な人の平衡機能試験として COP 軌跡を計測した報告⁽¹⁾では、COP 軌跡の動揺は 30 代から 50 代にかけて低く若年者と高齢者が高い値を示すが、ばらつきが大きく、加齢とともに標準偏差が大きくなる。平衡機能は多くの要因に影響を受けるため、重心動揺が小さければ即座に平衡機能が高いというよりも一定の基

^{*1} 正員、東京工業大学（〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-W9-4）
E-mail: maruyama@hum.titech.ac.jp

準範囲に収まっているか否かのスクリーニングとしての意味は大きいと言われる。

めまいや身体の不均衡は、転倒などのリスクが高まるため、健康な日常生活を営むためには重要である。また、パソコン、携帯電話、スマートフォン、ゲーム機器などの画面を注視することによる眼のテクノストレスも重要な課題であり、これらの機器の利用と生体の反応性を理解することが必要である。

本研究では、携帯機器操作時の生体反応に着目する。特に立位時に携帯機器を操作する時は、頭部を傾斜させ携帯機器をのぞき込む姿勢で携帯機器の画面を注視している。この場合、画面注視による視覚からの環境情報の不足や頭部前傾による三半規管の機能阻害により、生体の平衡機能あるいは姿勢制御に対して影響を及ぼすことが予想される。

そこで、携帯機器を利用する 20 代の若者を対象に携帯機器操作時の COP 軌跡を計測し、一般的な平衡機能試験を模倣した条件と携帯機器を操作する姿勢に近い状態の条件を比較することにより、携帯機器の操作が生体の平衡機能に及ぼす影響を検討する。

2. 方 法

2・1 被験者

年齢 19 歳から 25 歳の男性 9 名と女性 1 名の計 10 名を対象とした。被験者は身体に障害がない健康な者で、実験の参加については同意を得た。

2・2 実験手順

被験者は、床反力計上に以下の 6 条件において 3 分間の立位姿勢をとり、その時の重心動揺を計測した。なお、被験者の実験への慣れや疲労の影響を考慮し、実験条件の実施順番は被験者ごとにランダムに実施した。

<実験条件>

- ・条件 1：頭部を前方に向けた直立姿勢で、開眼した条件。
- ・条件 2：頭部を前方に向けた直立姿勢で、閉眼した条件。
- ・条件 3：頸部を屈曲させ頭部を下方に向けた姿勢で立位し、開眼した条件。
- ・条件 4：頸部を屈曲させ頭部を下方に向けた姿勢で立位し、閉眼した条件。
- ・条件 5：携帯型情報通信端末機器（被験者各自所有の機器、携帯機器と略）を右手に保持し、携帯機器を見るため頸部を屈曲させ頭部を下方に向けた姿勢で立位し、開眼した条件。
- ・条件 6：条件 5 と同様な姿勢で携帯機器を実際に操作した条件。しかし、右手が大きく動かないように右手親指のみで操作するように指示した。

床反力計の表面には足を置く位置を指定し、実験条件間で同じ位置に立つように指示した。床反力計上に足を置く位置は、床反力の中心（床反力座標の原点）から後方の 13cm のところに線を引きそこに足の踵部を揃え、また床反力の中心から左右に 10cm 離れたところに線を引きその線上を左右の足で踏むように指示した。なお、左右の線上には踵の中心と第 2 趾が乗るようにした。

床反力座標系は、左右足方向が X 軸（左側が正の値）、前後方向が Y 軸（前側が正の値）となる。被験者の作用点すなわち COP がこの X 軸と Y 軸の座標系で表現される。床反力データはサンプリング周波数 100Hz で取得した。

2・3 解析項目

(1) COP 軌跡

COP 軌跡の典型例を図 1 に示す。横軸（AY）が床反力計の Y 軸を示し、縦軸（AX）は X 軸を示している。AX が正の場合は左側、AY が正の場合は前側に COP が偏っていることを示す。

赤い線は被験者が 3 分間立位した時の COP 軌跡を示す。また黒い線の円は後述する実効値面積の範囲を示す。この円の大きさが重心動揺の大きさを表現する。

この例では、全体的に踵側の右足側に COP 軌跡が集中し、AX 方向の左右方向より AY 方向の前後方向に揺れている方が大きいことを示している。このように生体は左右どちらかの足で優位に立ち、また立位姿勢による頭部、腰部の位置関係で爪先よりあるいは踵より身体重心が偏って立っている。また、重心はある一点に静止することはありえず常に動いており、生体は動的な平衡を保っている。

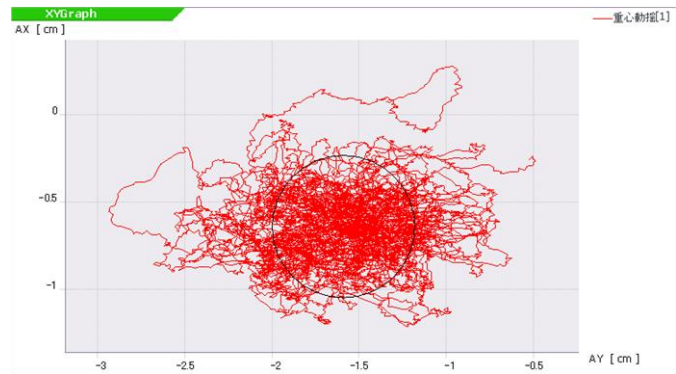


Fig. 1 Typical data of COP trajectory

(2) 実効値面積

重心動揺を評価する指標として、軌跡長、左右と前後方向における最大値の幅を辺として計算する矩形動揺面積などがある。ここでは計測誤差やはずれ値の影響が少ないと言われる実効値面積を採用する。

実効値面積の算出方法は式 (1) となる。重心動揺を正弦交流のような周期波形とみなし、その実効値を半径とした円の面積を求めている。

$$S = \left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(AX_i - AX_{\text{mean}})^2 + (AY_i - AY_{\text{mean}})^2\}} \right)^2 \times \pi \quad (1)$$

- n : 計測データ数
- AX_i, AY_i : COP 座標値
- AX_{mean}, AY_{mean} : COP 座標値の平均

2・4 統計処理

重心動揺の条件間による差の検定を行うため、統計ソフト SPSS を用いて対応のある一元配置分散分析を行った。有意水準は 5% とした。分散分析の結果、有意であると判定された場合は、事後検定として Tukey HSD による多重比較を行った。

3. 結 果

3・1 COP 軌跡

ある被験者の全条件における COP 軌跡を図 2 に示す。

この例を観察すると、たとえば条件 1 と条件 2 を比較すると、条件 2 の方が前後方向に揺らぎが若干大きい、左右方向ではあまり差がない。その結果、実効値面積を示す黒丸の大きさも大きく、立位時の身体重心動揺に対して閉眼の影響が表れていることがわかる。また、条件 3 と条件 5 および条件 6 に着目すると、三条件とも頸部を屈曲させ頭部を下方に向けた姿勢で開眼した状態である。条件 5 と条件 6 では携帯機器を右手に保持しているが、この条件の時に前後の揺らぎが減少している傾向にあり、しかも携帯機器を右手親指で操作すると前後方向の揺らぎがさらに減少し、三条件の中で実効値面積が最小であることが興味深い。

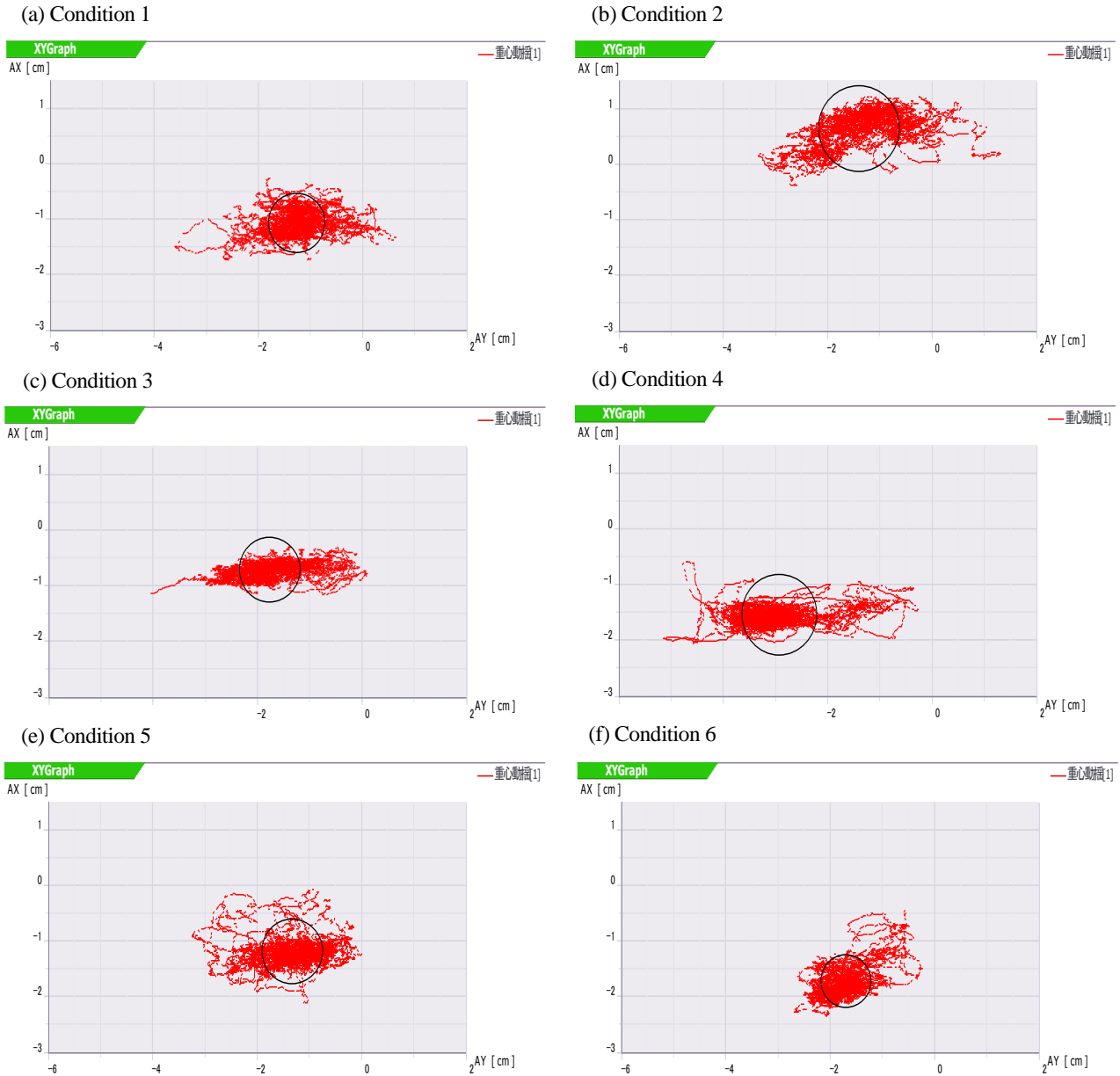


Fig. 2 COP trajectory at each condition

3・2 実効値面積

全被験者による平均値と標準偏差を図3に示す. 各条件とも標準偏差が大きく特に条件1と条件2ではかなり大きく, 個体差によるばらつきが大きかった. 実験条件を要因とする対応のある一元配置分散分析の結果は, $F(5, 45) = 2.986, p < 0.05$ となり, 条件間による差があることが明らかになった. しかし, Tukey HSDによる多重比較では, どの条件間にも有意な差が認められず, 個体差によるばらつきの影響が大きい結果であった.

この結果から, 条件6<条件3<条件4<条件5<条件1<条件2の順に重心動揺が大きくなる傾向になる. 条件1と条件2あるいは条件3と条件4を比較することにより, 視覚情報の有無により重心動揺が変化することがわかる. また, 条件1と条件2の二条件と他の四条件を比較すると頸部を屈曲させ下を見た姿勢は, 正面を向いた立位姿勢と比べると重心動揺が少ないことがわかる. そして, 条件6の携帯機器を操作することにより重心動揺が抑制されることがわかる.

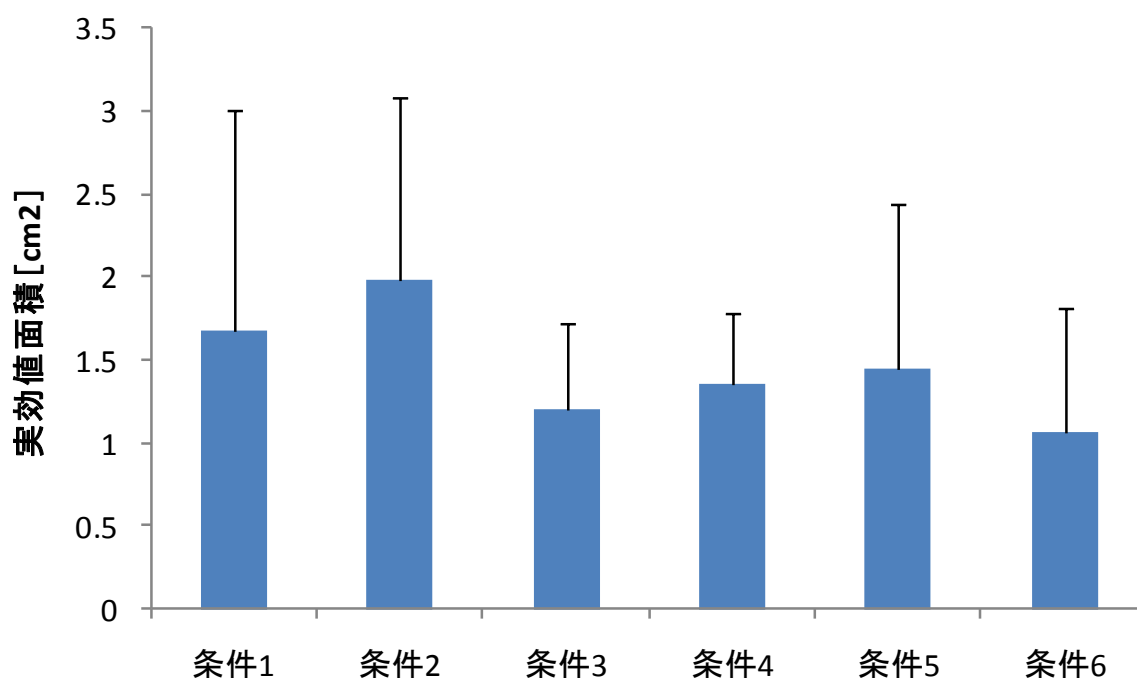


Fig. 3 Average area of a circle of root mean square for COP in all subjects

4. 考 察

本研究では、携帯機器を操作する姿勢が立位時の姿勢制御あるいは平衡機能に及ぼす影響を明らかにするため、携帯機器を利用する 20 代の若者を対象に、携帯機器操作時と一般的な平衡機能試験を模倣した条件および携帯機器を操作する姿勢に近い状態の条件について、平衡機能試験の一つである COP 軌跡を比較検討した。

立位時に携帯機器を操作する姿勢は、頸部を屈曲させ頭部を傾斜させ携帯機器をのぞき込みながら画面を注視している。そのため、画面注視による視覚からの環境情報の不足や頭部前傾による三半規管の機能障害が予測され、視覚や内耳の平衡覚に対して外乱刺激となり、携帯機器の操作や画面の注視は立位姿勢の保持や動的平衡状態の反応性に対して影響を及ぼすのではないかと推測した。

COP 軌跡は、生体の平衡機能を評価する指標である。しかし、多くの生理的な背景を含んだ指標であるため、個体差と個体内の変動が大きく、測定結果の絶対値の再現性に劣り、健康な人の計測結果でもばらつきが大きいとも言われる。しかしながら、COP 軌跡を観察することで、平衡機能の時間的・空間的な機能状態とそれを調節している神経機構の状態を抽出することが可能である。しかも侵襲と拘束の程度が少なく、比較的簡便に測定が可能であるため、今後の測定結果の応用発展性を考慮し COP 軌跡について検討することにした。

実験の条件 1 として、被験者の平衡機能を評価するため、一般的な平衡機能試験を倣い開脚立位時の姿勢保持について実施した。一般的な平衡機能試験では、15cm 幅に両足を開き 30 秒間か 60 秒間のどちらかに実施される。本研究では両足は 20cm の幅に開き、立位時間も 3 分間と試験時間が長い。立位時間は携帯機器の操作時間を勘案し 3 分間としたが、この時間の長さが COP 軌跡に影響を及ぼすことは明らかであると考えられた。しかし、すべての実験条件で同じ立位時間を実施していること、COP 軌跡の評価値として実効値面積を採用することから適切な評価が可能であると判断した。また、条件 2 として閉眼時の条件を行うことで視覚の影響についても検討した。一般的な平衡機能試験では、開眼時と閉眼時の結果を比較することでロンベルグ徴候と言う現象を捉え、体性感覚や前庭感覚の機能を評価している。

眼からの情報を遮断したことによる平衡機能に及ぼす影響を検討するため、条件 1 と条件 2 の比較、条件 3 と条件 4 の比較を行ったところ、すべての被験者が閉眼することにより重心動揺が大きくなるとは言えなかったが、

平均では閉眼し眼からの情報を遮断した方が平衡機能は損なわれる結果であった。しかしながら、ばらつきが大きいことは否めない。

携帯機器を操作する姿勢である頸部を屈曲させ頭部を傾斜することによる前庭感覚への外乱が、重心動揺に及ぼす影響を検討した。ここでは、条件1と条件3の比較あるいは条件2と条件4を比較することになる。その結果は、被験者による傾向はばらついたが平均値では頸部を屈曲させて頭部を傾斜させても重心動揺は大きくならず逆に小さくなる傾向にあった。内耳の前庭器官は三半規管と耳石器から構成され、それぞれ頭部の回転成分の加速度と並進成分の加速度を検出し、頭部を含む身体の運動を感知している。今回の実験条件は、頭部を傾斜させた姿勢で静止しているため、静止立位中の頭部には運動が生じていない。そのため、頭部の傾斜が前庭感覚への外乱刺激にはならなかったことが考えられる。頸部を屈曲させ頭部を前傾させた姿勢は、一般的な平衡機能試験に実際される直立立位の姿勢よりも、頭部の微小な動きは少ないのではないかと予測され、そのことにより重心動揺が少ない結果に結び付いているのではないかと考える。また、携帯機器の画面を見たり、周囲の状況を見たりと頻繁に頭部の運動が起きれば前庭感覚への外乱が生じることが予測される。

携帯機器の保持し画面を注視することによる重心動揺への影響は、条件3と条件5を比較することから検討し、携帯機器を操作することによる影響は条件5と条件6を比較することから検討した。その結果、被験者による傾向のばらつきは認められるものの、画面を注視しても携帯機器を操作しても重心動揺は大きくならず、逆に携帯機器を操作することにより重心動揺が一番小さくなる例が半数も認められた。携帯機器の操作や画面の注視は立位姿勢の保持や動的平衡状態の反応性に対して影響を及ぼすのではないかという予測とは異なり、結果は携帯機器の操作による重心動揺への影響はなかった。携帯機器を操作するという行為に傾注することにより、3分間の立位姿勢の保持と言う課題に対して気を紛らわす効果があったり、四肢の姿勢ここでは右手は携帯機器を身体から少し離れた位置に保持し親指を動かすという行為により逆に重心動揺を抑制し身体の平衡を保とうとする効果があったりしたのではないかと推測する。

5. 結 語

本研究は、携帯機器を操作する姿勢が立位時の姿勢制御あるいは平衡機能に及ぼす影響を明らかにするため、携帯機器を利用する20代の若者を対象に、携帯機器操作時と一般的な平衡機能試験を模倣した条件および携帯機器を操作する姿勢に近い状態の条件について、平衡機能試験の一つであるCOP軌跡を比較検討した。

その結果、携帯機器の画面を注視あるいは操作する姿勢は、姿勢制御あるいは平衡機能に悪影響を及ぼさないことがわかった。

しかし、携帯機器操作時に身体への突然の動揺に対する反応性、頭部の頻繁な運動に対する平衡機能については今後検討する必要がある。

謝 辞

本研究は、株式会社NTTドコモ 先進技術研究所との共同研究として実施されました。実験協力に感謝申し上げます。

文 献

- (1) 内山 靖, “第4章 姿勢・運動機能の計測 重心動揺計”, 計測法入門—計り方, 計る意味—, 協同医書出版社 (2001), pp.145-156.