

卒業論文要旨

重心推定に基づく立位のバランス評価と身体機能との相関

システム工学群

動的デザイン研究室 1220031 大石 諒太

1 緒言

我々の研究グループでは先行研究として、フォースプレート計測から質量中心 (COM) が推定することで、重心の揺れによる簡易的なバランス評価ができるようになった。しかし、バランスの評価ができて、バランスの問題が何に起因するのかわかっていないので改善しようがない。そこで、バランス能力において重要な要素として考えられるのが重心を検知するセンシングと力の正確性などのアクチュエータである。バランス評価で問題がある場合、原因がセンシングにあるのか、アクチュエータにあるのか切り分けたい。また、身体的機能とバランスの因果関係が分かってないため、リハビリなどで足の筋力を鍛えることに意味があるのか、また筋力が何に寄与しているのか不明である。

本研究の目的は、安静立位バランス評価と身体機能の関係を明らかにし、センシングやアクチュエータを評価したいと考える。また、リハビリテーションの効果を裏付けしたい。そこで、3つの視覚条件における安静立位のバランス計測を行う。1つ目は視覚情報が入らない閉眼時での計測 (EC)、2つ目が開眼時の計測 (EO)、3つ目が COM の現在位置を2次元空間の視覚フィードバック (FB) で与えた。EO から FB の計測でバランス評価が改善される被験者とされない被験者に分けられる。FB で改善される被験者はセンシングに問題があり、FB でセンシングを補うことで安定性が高まると考えられる。これを確かめるために、FB で改善した被験者が EC のセンシングに依存するバランス評価で悪化するのか確認する。アクチュエータに問題がある場合は、力の正確性に依存する視覚 FB のバランス評価が悪いと考え、これを判断する閾値を確立したい。また、足の筋力とバランス評価の相関により優位性を証明したい。

2 バランスの評価

2.1 揺れの評価

本研究ではフォースプレート計測から推定⁽¹⁾された COM 変位の変動と COM 加速度の変動によりバランスを評価する。質量中心の変位や加速度は立位のバランスにおいてフィードバック変数として重要な役割を果たしていると考えられている。COM 変位と COM 加速度の変動がともに小さいほどバランスが良いと考える。

2.2 より詳細な特性

揺れが小さいほうが良いと断言できないので、因果関係を表すより詳細な特性を知るために、COM の値に基づいた1次関数近似による勾配と制御力のばらつきによる評価をする。この関数の勾配を剛性とよく、もう一つの御力のばらつきは、近似直線に対するプロット点の加速度軸方向の標準偏差とする。

Table 1 Evaluation variables

avg	RMSxb [mm]	RMSaxb [mm/s ²]	RMSyb [mm]	RMSayb [mm/s ²]	Gradx [-]	Grady [-]	SIGx [-]	SIGy [-]
FB	1.038	10.437	0.918	6.322	-5.675	-2.729	9.040	5.895
EO	1.141	9.176	0.811	5.689	-4.372	-2.369	7.891	5.472
EC	1.384	11.786	0.926	6.059	-5.368	-1.923	9.279	5.851

Table 2 t-test

(a) Determination of significant difference between EO and FB								
	RMSxb	RMSaxb	RMSyb	RMSayb	Gradx	Grady	SIGx	SIGy
p	0.1331	0.0431*	0.1461	0.2153	0.0005*	0.4109	0.0398*	0.3249

(b) Determination of significant difference between EO and EC								
	RMSxb	RMSaxb	RMSyb	RMSayb	Gradx	Grady	SIGx	SIGy
p	0.0134*	0.0001*	0.1124	0.3844	0.0060*	0.2808	0.0095*	0.3411

3 視覚条件ごとのバランス評価

3.1 実験概要

被験者は若年健常者 30 名を対象に、フォースプレートを用いて安静立位実験を3つの条件で40秒の3セット行った。

3つの視覚条件は、アイマスクにより閉眼状態での安静立位計測 (EC)、通常の開眼時での計測 (EO)、COM を2次元空間で視覚化した状態での計測 (FB) でそれぞれ3回ずつを行う。人の通常の状態を開眼時 (EO) として、EO と EC、EO と FB の評価値に有意差があるのか t 検定を用いて確かめる。

3.2 t 検定による評価

視覚条件ごとの30名のバランス評価結果を平均したものを表1に示す。RMSxb, RMSyb がそれぞれ矢状面と前額面の変位の2乗平均平方根 (RMS) であり、RMSaxb と RMSayb が矢状面と前額面の RMS 加速度を表す。Gradx と SIGx は矢状面に対する剛性と制御力のばらつきを表し、Grady と SIGy は前額面に対する剛性と制御力のばらつきを表す。

EO から COM を視覚化した場合への有意差と、EO から視覚情報を無くした場合への有意差の判断結果を表2に示す。表2(a)に EO と FB の有意差判定を表2(b)に EO と EC の有意差判定の結果を示す。有意基準を0.05とし、p値が0.05を下回ったものは有意差があるといえる。

以上の結果から EO と FB、EO と EC で共通して有意差がみられたのは矢状面の評価変数だけであった。これは、安静立位の姿勢制御はもともと矢状面が支配的であり、前額面の揺れは元々小さく、視覚条件みられる変化も小さいと考えられる。しかし、矢状面でも EO と FB で RMSxb に有意差がみられなかったのは、FB で COM が視覚化されセンシングが平等になることで RMSxb が改善するかは個人差があることがわかる。よって、視覚条件による RMSxb の変化により、センシングの評価ができるのではないだろうか。

Table 3 Average value of sagittal plane displacement

avg	group1 [mm]	group2 [mm]
EO	1.440	1.008
EC	1.866	1.196

Table 4 t-test EO and EC

	group1 [-]	group2 [-]
p	0.0051*	0.2315

4 センシングの評価

FB が入ることで矢状面質量中心変位 (RMSxb) が改善する人とならない人に分けられることが分かった。FB で改善した被験者は本当にセンシングが悪いと言えるのか確認したい。そこで、被験者 30 名を FB で改善した集団 (group1) と FB で改善しない集団 (group2) に分け、それぞれのグループで EO と EC の有意差をみる。group1 がセンシングに問題があると仮定した場合、EC で有意に RMSxb が大きくなると考えられる。有意差は t 検定で判定する。しかし、t 検定ではデータの個数 (サンプルサイズ) が大きいと有意差が出やすい性質がある。group1 の数が特に多いので group2 と同数になるよう EO 変位が大きい順に算出し、t 検定を行った。

集団ごとの変位の平均値を表 3 に、t 検定の有意差判定の結果を表 4 に示し、有意基準を 0.05 とした。表 3、表 4 の結果から group1 は EC で RMSxb が有意に大きくなるとわかる。

以上より、FB で RMSxb が小さくなった被験者はセンシングに問題があり、よりセンシングに依存する EC では RMSxb が大きくなると考えられる。

5 アクチュエータの評価

Mulligan らの研究⁽²⁾では、足底固有筋が足弓の支持を補助しバランスパフォーマンスに重要な寄与する可能性を述べている。もし足の筋力が強い人がバランス能力の何かしらに良い影響を与えているとしたら、アクチュエータの性能に寄与すると考えられる。

5.1 足のピンチ力計測

安静立位実験と同じ被験者 30 名に対して足裏のピンチ力計測を行った。ピンチ力の計測には足指筋力測定器 (T.K.K.3364b : 竹井機器工業) を用いて、座位で計測した。足部を測定器に乗せ、ヒールストッパーとベルトで固定した。測定時、被験者は股関節と膝関節を 90 度に屈曲させた状態で、グリップバーを引くように指示された。測定は 3 回行い、測定されたピンチ力の平均値を解析に使用した。

5.2 足のピンチ力とバランスの相関

足のピンチ力と安静立位計測から得た評価変数との相関係数を求める。相関係数は 1 から -1 の値をとり、値が 1 に近いほど強い正の相関があり、値が -1 に近いほど強い負の相関あり、0 に近いと相関がないと言える。

相関分析の結果を表 5 に示す。矢状面の制御力のばらつき (SIGx) では、ピンチ力と正の相関関係が FB と EC であった。

図 1 から FB のピンチ力と SIGx に強い相関はないが、SIGx の値が小さい集団 (SIGx が 10 以下) ではピンチ力と正の相関 (r=0.57) がみられ、それ以外の被験者では相関は見られなかった。

FB の SIGx の値が 10 を以上と以下で 2 つの集団に分けられることがわかる。この 2 つの集団が FB での揺れのバランス評価がどうなるのか図 2 に示す。ここで、SIGx が 10 以下の被験者を赤点で、10 以上の被験者を青点でプロットした。図 2 より FB で SIGx が 10 以上の被験者は揺れも大きく、SIGx が 10 以下の被験者は揺れも小さいことがわかる。FB で

Table 5 Correlation coefficient

r	RMSxb	RMSaxb	Gradx	SIGx
FB	0.37	0.48	-0.23	0.40
EO	0.19	0.38	-0.38	0.24
EC	0.42	0.46	-0.16	0.37

のバランス評価ではアクチュエータの性能に依存するため、FB で SIGx が 10 以上の被験者はアクチュエータに問題があると評価できる。SIGx が 10 以下の被験者でピンチ力と相関がみられてのは、減衰が SIGx の力のばらつきとして作用しており、ピンチ力が大きい人ほど減衰力が高い可能性が考えられる。

SIGx が 10 以下の被験者は足部固有筋を鍛えることで減衰を高め、バランスの改善が望めるのではないだろうか。

6 結言

本研究で、FB を入れることでセンシングを平等にし、矢状面変位に改善した被験者はセンシングに問題があり、EC で有意に悪化することが分かった。

また、FB の力のばらつき SIGx で 10 以上の被験者はアクチュエータに問題があり、逆に SIGx が 10 以下の被験者では足部固有筋が優れているほど減衰が上がる事がわかる。

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) E.P. Mulligan, P.G. Cook, Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function, Man. Ther., 18 (2013), pp. 425-430.

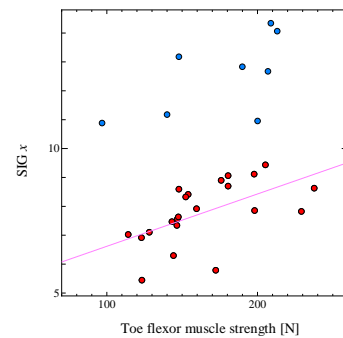


Figure 1 Pinch power and SIGx in FB

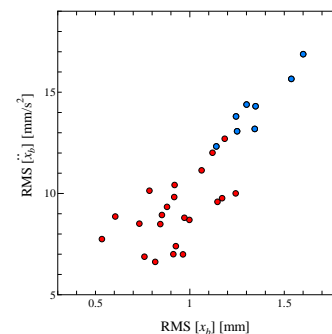


Figure 2 Balance evaluation of sagittal plane in FB