

安静立位姿勢における足圧中心変位に及ぼす深呼吸の影響

The influence of a deep breathing on center of foot pressure during quiet breathing

内山 応信¹⁾・出村 慎一²⁾・山次 俊介³⁾

中田 征克⁴⁾・北林 保⁵⁾

Masanobu UCHIYAMA¹, Shinichi DEMURA², Shunsuke YAMAJI³

Masakatsu NAKADA⁴, Tamotsu KITABAYASHI⁵

Abstract

This study examined the perturbing influence of deep breathing on the magnitude and direction of the displacement of the center of pressure (COP) during static standing with subjects breathing quietly. Five males and five females who have no neuropathy participated in this study. Platform stabilometry during 1 min in the upright posture with Romberg (open eyes and closed feet) was carried out 3 times with 1 min rest in between. The measurement instrument was Anima's stabilometer G5500. Data were recorded every 20 msec. The two parameters regarding the magnitude and direction of COP were: the mean of absolute values of COP (MABC) and the mean of values (MACC) along the lateral axes (COPX) and anterior-posterior axes (COPY) during 15 sec before (Pre-DB) and after (Post-DB) deep breathing. There were no significant differences in MABC for both COPX and COPY between Pre-DB and Post-DB. The MACC of COPY tended to change between Pre-DB and Post DB. In addition, 80% of the males moved forward, while 80% of the females moved backward after deep breathing. It is suggested that there was little perturbing influence associated with deep breathing for COP, but the mean direction of COP for individuals moved forward or backward.

Key Word : Center of pressure, Deep breathing, Postural control

I. 緒言

ヒトの姿勢は、前庭・半規管系、視覚系、脊髄固有反射系、および体性感覚系などから生じる求心性情報を小脳、脳幹をはじめとする中枢神経系で統合処理する過程を経て、四肢・体幹の協働運動により保持されている^{1,3,9,14)}。また、姿勢保持には様々な外的・内的要因が外乱刺激として関与するため、常に身体重心の動揺(身体動揺)を伴う³⁾。その動揺は足関節を支点とした逆振り子運動となるため、足圧中心(COP)変位として記録することができる¹⁵⁾。近年、計測機器の開発に伴う計測

およびデータ処理の簡便性から、身体動揺をCOP変位から捉える手法が多く用いられるようになった。静的立位姿勢は健常者にとって比較的容易な課題であり、COP変位に個人差が現れにくい。そのため、健常者の平衡性の優劣をCOP変位を手がかりに捉えようとする姿勢研究では、前庭・半規管系や視覚系等に外乱刺激を与え、動揺を増大させる方法をとっている。また、一方で、呼吸、心拍、血圧等の身体動揺を引き起こす内的要因とCOP変位との関係の検討も行われている^{2,4-8)}。特に呼吸に関しては、呼吸運動に伴う胸郭の幾何学的位置関係に変化が生じるため、COP変位に影響を及ぼすことが推察される⁴⁾。

1) 金沢大学大学院教育学研究科 Kanazawa University Graduate School Faculty of Education

2) 金沢大学教育学部 Kanazawa University Faculty of Education

3) 福井工業高等専門学校 Fukui National of College of Technology

4) 金沢美術工芸大学 Kanazawa College of Art

5) 金沢大学大学院自然科学研究科 Kanazawa University Graduate School of Natural Science and Technology

Gurfinkelら⁵⁾は、身体動揺に対する呼吸の影響を捉えるために、立位姿勢におけるCOP変位を視覚的に比較したが、呼吸の影響は確認されなかったと報告している。彼らは、呼吸に起因する身体動揺(呼吸性動揺)は、腰および頸部運動の補償作用により相殺され、身体動揺に及ぼす呼吸の影響は小さいと推測している。一方、Hunterら⁶⁾は、COP変位の波形特性を時系列的に検討するために、同期加算平均法から1呼吸中のCOP平均変動を求めた。その結果、立位および座位姿勢におけるCOP変位の時系列に、呼吸性動揺の成分が確認されたと報告している^{2,6)}。しかし、同期加算平均されたCOPの標準偏差は、連続的な呼吸間隔に関して計算されたオリジナルのCOP平均標準偏差の28%であった。換言すれば、COP変位の時系列に含まれる呼吸性動揺成分は、COP変位の変動成分の中ではそれほど大きくないといえる⁶⁾。以上のことから、立位姿勢の被験者における呼吸性動揺成分は存在するが、微小と推察され、静的立位姿勢におけるCOP変位に対する呼吸の影響がどの程度であるかは判断できない。したがって、COP変位に及ぼす呼吸の影響の程度を明らかにする試みとして、呼吸の影響が大きくなるような内的外乱を加えて検討することも有効と考えられる。先行研究^{2,4,6,8)}では、この外乱刺激として深呼吸および無呼吸におけるCOP変位への影響を検討しているが、上述したようにCOP変位の方向性に及ぼす呼吸の影響についての見解は一致していない。また、個人差の観点から呼吸の影響を明らかにした報告はほとんどみられない。静的立位姿勢のCOP変位における深呼吸の影響がそれほど大きくなければ、安静時呼吸の影響もほとんど無視することができよう。

本研究の目的は、立位時の安静呼吸中における1回の深呼吸が、身体動揺の指標とされているCOP変位の大きさおよび位置に及ぼす影響を検討することである。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、神経機能障害を持たない健常な男子大学生5名(年齢: 21.6 ± 2.3 歳, 身長: 174.4 ± 7.9 cm, 体重 75.9 ± 18.6 kg), および女子5名(年齢: 21.0 ± 1.2 歳, 身長: 161.0 ± 6.8 cm, 体重 54.5 ± 5.2 kg)の計10名。被験者の体格特性は、同年代の全国標準値と比較してやや大きかった¹⁶⁾。なお、被験者には測定に先立ち実験の主旨、目的および方法について詳細に説明し、同意を得た。

2. 実験装置

(1) 重心動揺測定器

COP変位は重心動揺計(G5500, アニマ)を用いて測定した。この測定器では、水平面上の二等辺三角形の頂点に置かれた3個の垂直荷重センサー値から、垂直荷重の作用中心点(COP)を求め、これを水平面に投射された重心位置と仮定する。データは二次元座標に変換してサンプリング周波数20Hzでパソコンに取り込んだ。

(2) 呼気ガス測定器

重心動揺測定時における被験者の深呼吸開始時間、および終了時間を正確に同定するために、呼気ガス分析器(エアロモニタAE-280S, ミナト医科学)を用いて1回換気時間, 1回吸気時間, 1回呼気時間を測定した。この測定器は、プレスパイプレス法により1呼吸ごとの呼吸データを算出し、ガス分析用に接続されたパソコン上に記録する。また、COP変位データと同期化することで、被験者の深呼吸の開始と終了位置を同定した。本実験装置は図1に示すとおりである。

3. 実験手順

測定前に被験者の体格項目を計測した。COPに対する呼吸の乱れや心拍数の上昇等による影響を考慮し、座位姿勢にて30分間被験者に安静をとらせた後、呼気ガス分析用マスクを装着してCOP変位測定を行った。COP変位測定の方法は、日本平衡神経科学会の重心動揺検査基準¹⁰⁾における検査方法に従った。すなわち、被験者は開眼、閉足の直立姿勢(Romberg姿勢)を保持し、検査台の先に各被験者の身長に合わせた注視点を1分間注視した。その際、被験者は外踝の位置を基準にして、測定台に描かれた足型に合わせて乗った。被験者の姿勢、手の位置と視線の位置、および被験者の呼吸の安定を確認した後、COP変位の測定を開始した。被験者は、検者の合図により各試行で1回の深呼吸を行った。深呼吸の開始時間は、各試行の測定開始から25秒経過時点とし、持続時間を10秒(吸息: 5秒間, 呼息: 5秒間)とした。深呼吸は注視点に設置した低光度のランプの点灯を合図に行わせた。測定は、1分間の安静を挟み計3回行った。安静は座位姿勢とし、試行間で計測プレート上の足の位置が変わらないように、足は検査台から外さないように指示した。本実験手順は図2に示すとおりである。

4. 評価変数

COP変位評価変数として左右方向のCOP動揺時系列(COPX: 正数は右方向への変位, 負数は左方向への変位), および前後方向のCOP動揺時系列(COPY: 正数

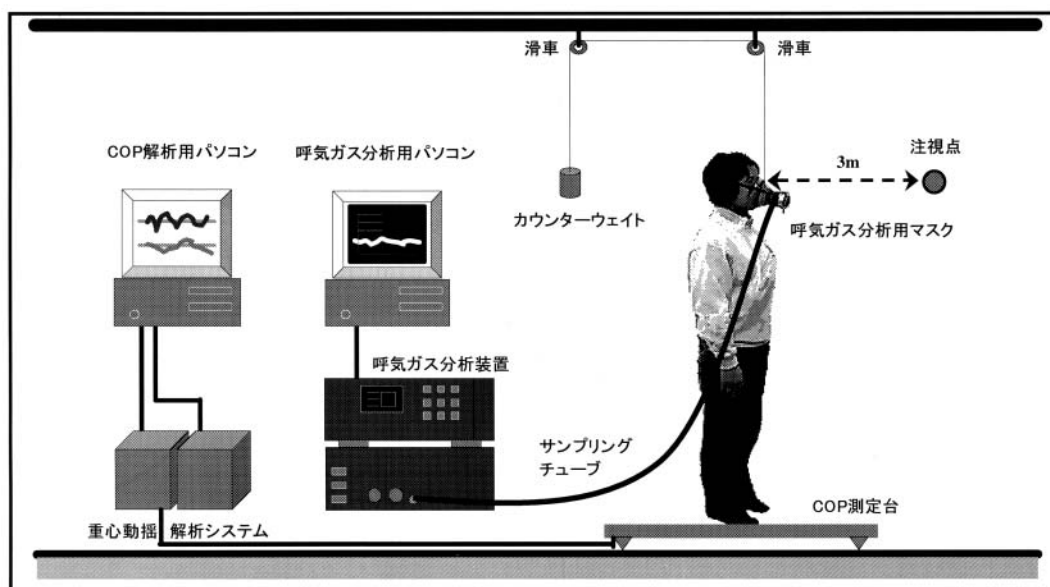


図1 実験装置

注) 呼吸ガス測定とCOP変位測定の測定開始時刻はパソコンより同時にスタート信号を送ることで同期した。

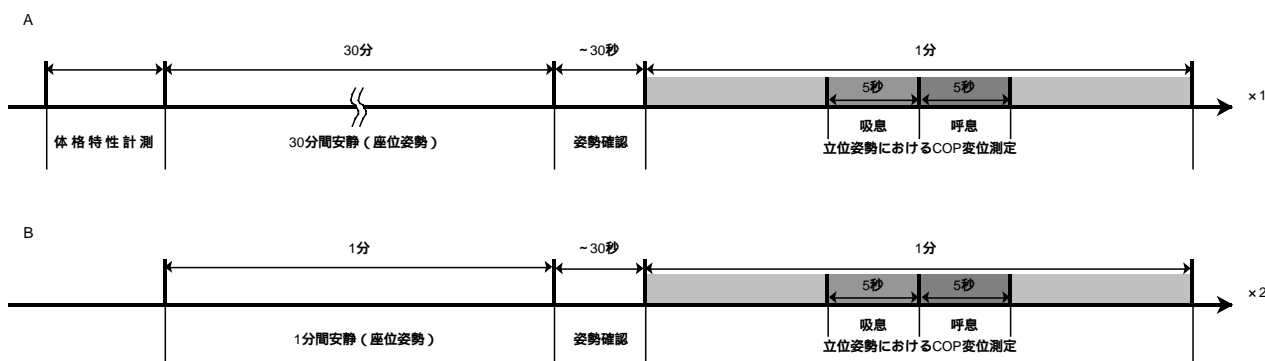


図2 実験プロトコル

注) Aは第1試行に採用．Bは第2，3試行に採用

は前方への変位，負数は後方への変位)から変動量の平均値(平均変動量)と位置の平均値(平均位置)を算出した。平均変動量(式1)は，測定台の絶対的中心点(動揺中心点)から左右方向および前後方向へのCOP変位の大小を表わす指標として，平均位置(式2)は動揺中心点から左右方向および前後方向へのCOP変位の方向の指標とした。それぞれ深呼吸直前および直後15秒間の値を算出した。

15秒間のCOP(X, Y)変動量平均値(平均変動量)(cm)=

$$\left(\sum_{i=1}^{300} |COP(X_i, Y_i)| \right) / 300 \quad \dots (式1)$$

15秒間のCOP(X, Y)位置平均値(平均位置)(cm)=

$$\left(\sum_{i=1}^{300} COP(X_i, Y_i) \right) / 300 \quad \dots (式2)$$

COPXi: サンプル周波数20Hzで測定したX軸座標の変位データ(20Hz × 15秒=300個), COPYi: サンプル周波数20Hzで測定したY軸座標の変位データ

5. 統計解析

深呼吸前後におけるCOP変位の変化傾向を明らかにするために，深呼吸直前(Pre-DB)および直後(Post-DB)15秒間におけるCOPXとCOPYにおける評価変数の平均変動量および平均位置の差を，対応のあるt-検定

により検討した。まず、各被験者の行った計3試行の平均値を代表値として、深呼吸の前後の変動量および位置の差を検定した。次に、各被験者における深呼吸の前後の変動量および位置について、符号検定により個人内で比較した。なお、本研究の統計的仮説検定の有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結果

図3はある被験者の呼吸による呼気および吸気量の変動とX軸およびY軸方向のCOP変位を同期化させて示したものである。左右方向動揺(COPX)の大きさ(平均変動量)は深呼吸前より後の変位が大きく、方向(平均位置)は深呼吸後に左方に移動する傾向にあった(図4A)。また、前後方向動揺(COPY)の平均変動量は深呼吸前より後の変位が大きく、平均位置は深呼吸後に前

方に移動する傾向にあった(図4B)。しかしCOPX, COPYとも、平均変動量および平均位置のいずれにも深呼吸前後に有意差は認められなかった。

各被験者における個人内の変動について、COPX(表1上)の平均変動量は、10名中7名において深呼吸後が大きい傾向であった。また、平均位置は、10名中6名において深呼吸後に左方に移動する傾向であった。一方、COPY(表1下)の平均変動量は、10名中8名において深呼吸後が大きい傾向であった。しかしながら、いずれの被験者においてもこれらの変数には有意差は認められなかった。また、平均位置は、10名中5名において深呼吸後に前方に移動する傾向であった。平均位置が、深呼吸後に前方に移動する者と後方に移動する者の割合は半々であった。ただし、男子の80%(5名中4名)が前方へ、女子の80%(5名中4名)が後方へ移動する傾向にあった(図5)。

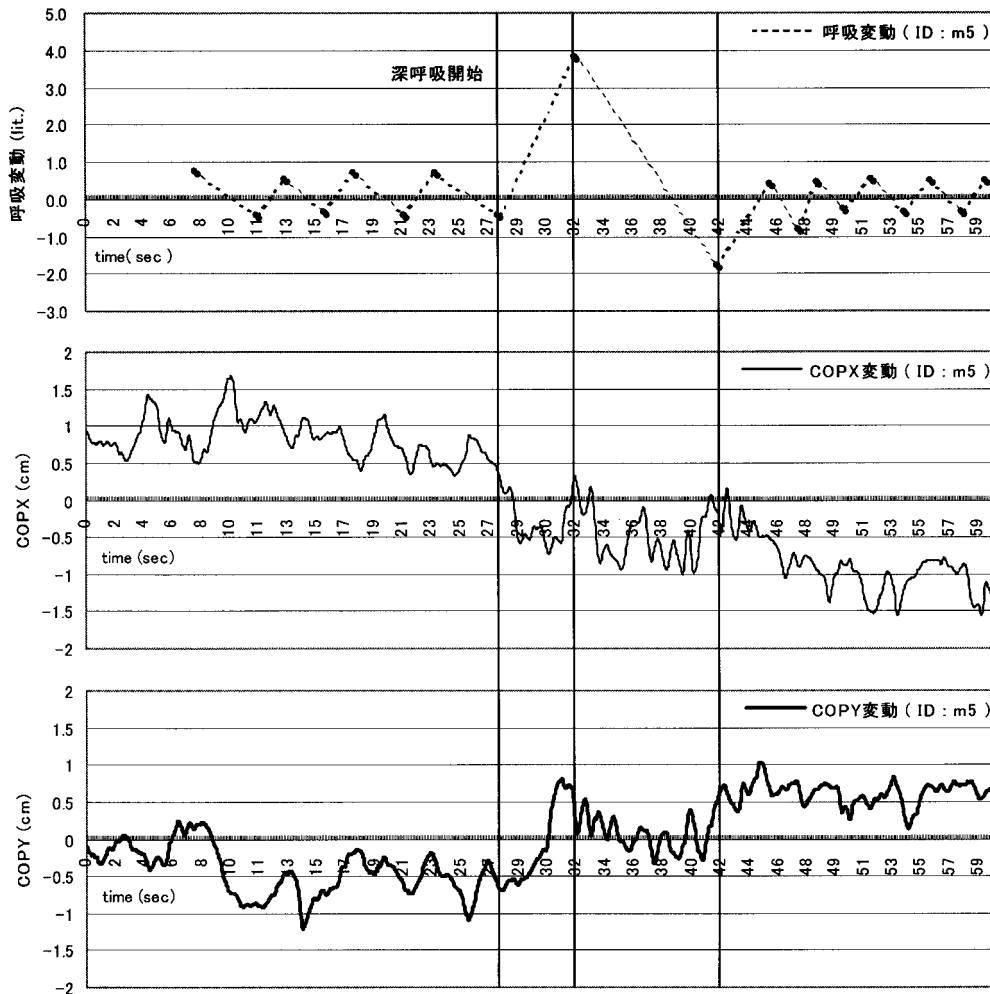
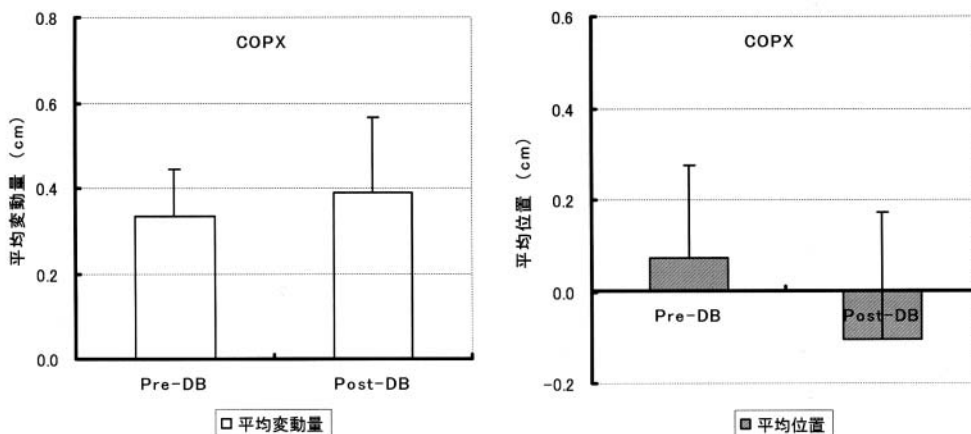
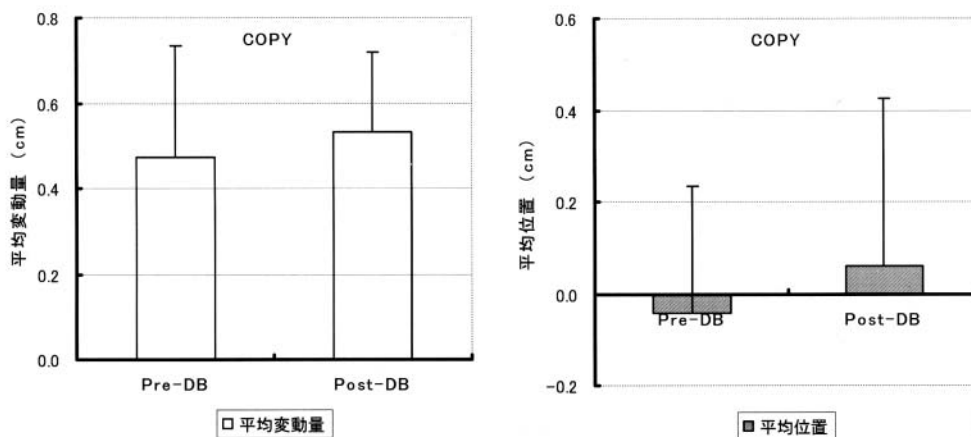


図3 被験者の呼吸による呼気および吸気量の変動と、X軸およびY軸方向のCOP変位を同期化させた例



A COPXの平均変動量および平均位置における深呼吸前後差



B COPYの平均変動量および平均位置における深呼吸前後差

図4 深呼吸前後における平均変動量と平均位置の個人間における変化
注) 平均変動量および平均位置とも深呼吸前後で有意差は認められなかった ($p < 0.05$)

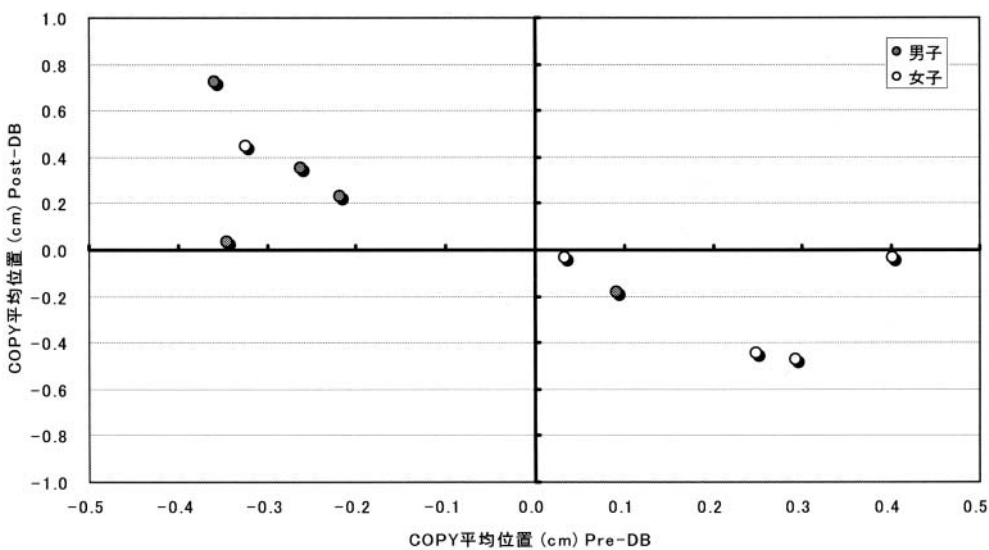


図5 深呼吸前後における性別に示した平均位置の変化

表1 深呼吸前後における平均変動量と平均位置の個人内における変化

変数 (単位: cm)	被験者ID	Pre-DB		Post-DB	
		AV	SD	AV	SD
COPX 平均変動量	m1	0.34	0.09	0.41	0.02
	m2	0.51	0.17	0.70	0.13
	m3	0.32	0.06	0.25	0.06
	m4	0.33	0.07	0.35	0.07
	m5	0.20	0.04	0.31	0.03
	f1	0.38	0.08	0.47	0.02
	f2	0.28	0.04	0.23	0.03
	f3	0.51	0.10	0.64	0.17
	f4	0.32	0.01	0.43	0.10
	f5	0.15	0.02	0.11	0.00
COPX 平均位置	m1	-0.26	0.11	0.03	0.14
	m2	0.46	0.20	-0.64	0.21
	m3	0.05	0.28	0.09	0.17
	m4	-0.10	0.17	0.19	0.16
	m5	0.04	0.07	-0.12	0.09
	f1	-0.16	0.17	0.28	0.08
	f2	0.11	0.16	-0.03	0.11
	f3	0.32	0.15	-0.40	0.21
	f4	0.19	0.05	-0.40	0.12
	f5	0.07	0.06	-0.04	0.04
COPY 平均変動量	m1	0.62	0.38	0.70	0.37
	m2	0.37	0.14	0.45	0.16
	m3	0.42	0.14	0.49	0.19
	m4	0.20	0.03	0.33	0.02
	m5	0.37	0.02	0.75	0.07
	f1	0.68	0.15	0.50	0.20
	f2	0.46	0.13	0.54	0.27
	f3	1.10	0.44	0.89	0.38
	f4	0.33	0.12	0.43	0.15
	f5	0.17	0.05	0.23	0.07
COPY 平均位置	m1	-0.34	0.43	0.03	0.14
	m2	-0.26	0.20	0.35	0.29
	m3	-0.22	0.31	0.23	0.39
	m4	0.09	0.06	-0.18	0.11
	m5	-0.36	0.03	0.72	0.06
	f1	-0.32	0.62	0.45	0.27
	f2	0.40	0.21	-0.03	0.11
	f3	0.25	1.12	-0.45	0.76
	f4	0.29	0.13	-0.48	0.11
	f5	0.03	0.11	-0.03	0.04

注) 各被験者において深呼吸前後の平均変動量および平均位置の差を符号検定により検定した結果、いずれの被験者においても有意差は認められなかった。

IV. 考察

静的立位姿勢では、抗重力筋の活動とそれによって副次的に生じる外乱的重心移動を元に戻す姿勢保持機能が働いている。その他にも、わずかではあるが呼吸における胸郭や腹部の動きに伴う重心変動も加ると考えられる⁴⁾。これらの要因に起因するCOP変位を評価するために、COPXとCOPYの両時系列に対し、平均変動量および平均位置を算出した。平均変動量はCOP変位振幅の絶対値 (cm) に対する一定時間 (深呼吸直前および直後15秒間) の平均値であり、平均位置はCOP変位振幅

値 (cm) に対する一定時間 (平均変動量と同様) の平均値である。各変数はCOPXとCOPYの両時系列に対し、深呼吸前後におけるCOP変位の変化傾向を、大きさ (平均変動量) と位置 (平均位置) の2観点から捉え得るものと考えられた。

Gurfinkelら⁵⁾は立位姿勢において安静時呼吸と無呼吸による身体動揺の差異を検討しており、両呼吸条件による身体動揺の差異は視覚的に認められないと報告している。本研究では、安静時呼吸よりも身体動揺が大きいと考えられる深呼吸における呼吸の影響を検討したが、左右方向動揺 (COPX) および前後方向動揺 (COPY) の平均変動量 (大きさ) と平均位置 (位置) の両者におい

て、平均値に差異は認められなかった。各被験者について深呼吸前後の変動の大きさを比較すると、COPXで70%、COPYで80%の被験者が深呼吸後にCOP変位が大きくなる傾向にあったが、最大で1秒間に0.38 cm (被検者ID: m5)のみ増加であった(表1)。Gurfinkelら⁵⁾は、腰および頸部運動の補償作用により、呼吸の影響が相殺されると推測している。つまり、多くの場合、深呼吸による内的外乱が姿勢保持に影響するが、同時に姿勢の安定性を保持しようとする機能が働き、結果的に重心位置の著しい変動として反映しないと考えられる。

深呼吸前後のCOP変位の位置について、各被験者の変動を比較すると、COPXに比べCOPYにおいて位置が変化する傾向にあった。先行研究において、COPYはCOPXに比べ、呼吸の影響を受けることが報告されている²⁾。同期加算平均法を用いてCOP変位の時系列解析を行った先行研究⁶⁾によると、座位および立位において、姿勢は吸息時に後方へ、呼息時に前方へ移動する。立位姿勢において深呼吸を行うと、一般的に体幹を後屈させて吸息するので、COPは後方に移動すると考えられる。しかしながら、各被験者のCOPY変位は、深呼吸後に前方に移動する者と、後方に移動する者が存在した。前述のことから、被験者全体の平均値で比較すると相殺され深呼吸前後差が認められない可能性がある。深呼吸時における呼吸運動において、吸息時に胸郭全体が挙上され、呼息時には胸郭が下げられる¹¹⁾。この股関節上部の筋活動に伴う胴体部および上肢や頭部の重心移動による不平衡を防ぐために、足関節、股関節の回転、そして腰椎の伸展、屈曲による調節がなされていると考えられる。このように下肢と胴体接合部の可動部位は左右方向に比べ、前後方向の方が多いため、外乱が生じたとき、COP変位は左右方向より前後方向への変動の方が現れやすいと考えられる。深呼吸による内的外乱による姿勢の乱れを、COP変位の平均位置を前もしくは後に移動し姿勢の安定性を保持しているのかもしれない。COP変位の平均位置が前後のいずれの方向に移動するかについては、深呼吸の仕方、骨格特性、体格など様々な要因の影響が考えられ、本研究の結果から推察することは困難であるが、本研究の被験者のうち、男子の80%(5名中4名)は前方へ、女子の80%(5名中4名)は後方へ移動したことはそれについて何らかの示唆を与えていると考えられる。佐野ら^{12,13)}は3次元運動解析による呼吸様式の検討において、呼吸様式(安静呼吸・胸式呼吸・腹式呼吸)と胸郭運動との関係を定量的に評価した結果、各呼吸様式における胸郭各部および腹部の拡張性は、男女間で異なると報告している。深呼吸による胸郭および腹部の拡張

性の性差が、深呼吸後のCOPY変位の位置の性差に反映している可能性がある。また、上述したように男女により体格特性や筋量が異なることも影響している可能性もあり、今後、男女の深呼吸の仕方、骨格、体格特性などの影響について検討していく必要がある。

以上より、深呼吸による内的外乱刺激においても、COP変位の変動量は大きく変わらないことから、深呼吸よりも身体動揺への影響が小さいと考えられる安静時呼吸が身体動揺に及ぼす影響はほとんどないと推測される。しかし、内的外乱刺激に対して、姿勢の安定を保持しようとしたときにCOPY変位の平均位置を移動させる傾向があり、さらに移動させる方向には性差が窺える。姿勢制御機構に対する外乱刺激には、アルコール摂取や身体的もしくは精神的疲労などのように神経、筋機能などへの外乱刺激と身体部位への圧迫、深呼吸などのように物理的に身体に作用する外乱刺激に分類される。前者について、山次ら¹⁷⁾はアルコール摂取による神経機能の低下がCOP変位の変動および位置に及ぼす影響を検討した結果、COP変位の変動量は著しく増大したのに対し、位置は変化しなかったことを報告しており、本研究において得られた深呼吸によるCOP変位の変動とは異なる傾向を示した。神経機能への外乱刺激と本研究のような物理的な外乱刺激では、COP変位に及ぼす影響も異なることが推測される。今後、それぞれの外乱刺激が複雑な情報を統合して行われる姿勢制御に対して、いかなる機能にどの程度の貢献度で作用しているかを明らかにしていく必要がある。

V. まとめ

本研究の目的は、立位時の安静呼吸中における1回の深呼吸が、身体動揺の指標とされているCOP動揺変位の大きさ(平均変動量)および位置(平均位置)に及ぼす影響を検討することであった。以下のことが明らかになった。

1. 深呼吸前後のCOP変位の変動量は左右方向(COPX)および前後方向(COPY)と顕著な変化はみられない。
2. 深呼吸前後のCOP変位の位置は前後方向(COPY)に移動する傾向があり、深呼吸後に男子の多くが前方へ、女子の多くが後方へ移動する傾向が窺えた。

引用・参考文献

- 1) 浅井仁, 藤原勝夫 (1992) 低速度での足圧中心による指標トラッキングからみた立位姿勢調節能. 体力科学41 : 447-456
- 2) Bouisset S, Duchene JL (1994) Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? Neuroreport5(8) : 957-60
- 3) 出村慎一, 山次俊介, 野田政弘, 北林保, 長澤吉則 (2001) 静止立位姿勢における足圧中心動揺の評価変数の検討 試行間信頼性と変数相互の関係の観点から. Equilibrium Res60 : 44-55
- 4) Eleonore K, Poupard L, Bozec S, Bouisset S (2001) Does body stability depend on postural chain mobility or stability area? Neuroscience Letters 308 : 128-132
- 5) Gurfinkel, V.S., Kots, Y.M., Paltsev, E.I. and Feldmann, A.G. (1973) The Compensation of respiratory disturbances of the effect posture of man as an example of the organization of inter-articular inter-action. In E.V. Gurfinkel, S.V.Fomin and M.L. Tsetlin (Eds.), Models of the Structural-Functional Organization of Certain Biological Systems, MIT Press : 382-395.
- 6) Hunter IW, Kearney RE (1981) Respiratory components of human postural sway. Neurosci Lett25(2) : 155-159
- 7) 稲村欣作, 間野忠明, 岩瀬敏 (1997) 体液量変動1分波と姿勢動揺のカップリングを利用した起立性低血圧防止法. 自律神経34 (2) : 148-149
- 8) Jeong BY (1991) Respiration effect on standing balance. Arch Phys Med Rehabil72(9) : 642-645
- 9) 宮崎義憲, 栗原美保子 (1993) 中高生女性の運動習慣がバランス能力に及ぼす影響について. デサントスポーツ科学14 : 267-273
- 10) 日本平衡神経科学会 (1983) 重心動揺検査の基準. Equilibrium Res42 : 367-369
- 11) 佐藤達夫, 苫米地孝之助, 五島孜朗, 奥平進之 (1992) 解剖生理学. 医師薬出版株式会社 : pp.164
- 12) 佐野直樹, 山田拓実, 三沢和弥, 夏井けい子, 額谷一夫 (1999) 3次元運動解析による呼吸様式の比較. 東保学誌1 (2) : 68-71
- 13) 佐野直樹, 山田拓実, 中山孝 (1998) 胸郭拡張運動の3次元解析. 理学療法学会特別号25 : 586
- 14) 種田行男 (1996) 姿勢調節の加齢変化. PTジャーナル30 (5) : 305-310
- 15) 田中さくら (2000) 心拍変動からみた立位時におけるヒラメ筋H反射の変動特性に関する研究. 体力科学49 : 257-266
- 16) 東京都立大学体育学研究室 (2000) 新・日本人の体力標準値 不昧堂 : pp.90-101
- 17) 山次俊介, 出村慎一, 中田征克, 郷司文男, 南雅樹, 長澤吉則 (1999) アルコール摂取前後の重心動揺評価変数の信頼性, 及び変数相互の関係. 日本体育学会測定評価専門分科会機関誌60 : 71-79