

氏名	野田 政弘
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博甲第850号
学位授与の日付	平成18年9月28日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	定量的解析および時系列解析を用いた静止立位姿勢時における重心動揺に関する研究
論文審査委員(主査)	出村 慎一(教育学部・教授)
論文審査委員(副主査)	矢倉 公隆(教育学部・教授), 川幡 佳一(教育学部・教授), 寺沢 なお子(教育学部・助教授), 長澤 吉則(秋田県立大学・准教授)

Abstract

In this study, we utilized quantitative analysis and stabilogram-diffusion analysis (SDA) to examine the influence of alcohol intake and muscle fatigue of the lower legs on center of pressure (COP) movement during quiet standing. An instrumented force platform was used to measure the time-varying displacements of the COP under the subject's feet during quiet standing. The COP movement for 60 sec. was measured before and after alcohol intake and muscle fatigue. Healthy young men and women who were free of major gait and postural disorders participated in this study. Quantitative analysis showed that influences from alcohol intake and muscle fatigue on COP were found in the changes of value of COP parameters. It was clarified that the variables affected were different between two conditions. SDA confirmed that critical point coordinates existed and short-term region and long-term region could be separated. Different postural control strategies are used in the two regions; open-loop control for the short-term region and closed-loop control for the long-term region. The changes in these strategies are common for both cases of alcohol intake and lower leg muscle fatigue. We inferred from this that even if the factor that influences maintaining a posture is different, the basic strategy for postural control is not affected.

1. 序論

ヒトが重力の影響下で立位姿勢を保持する場合、重心の高さ、支持基底面の広さ、支持基底面と重心線の関係、質量、床との接触面の摩擦、身体に分節性、心理的および生理学的要因など種々の要因から影響を受ける。立位姿勢の安定性にはこれら多くの要因が複雑に関与していることから、ヒトが立位姿勢を完全に静止した安定状態に保持することは困難で、静止立位姿勢と姿勢動揺は不可分の関係にある。姿勢動揺は、静止立位姿勢保持の環境に関わる情報が前庭系・半規管系、視覚系、および固有感覚と皮膚感覚の体性感覚系からの感覚入力として小脳や脳幹などの中枢神経系に伝達・統合されて、姿勢を保持するための運動出力が筋群に伝えられた結果として生じている。

ヒトの姿勢制御機能は動的フィードバック系として機能しているため、系の一部に機能

障害が生じると立位姿勢の安定性は低下し、場合によってはその保持が困難になる。臨床で用いられるRomberg 姿勢は一種の標準化された立位姿勢で、このような特定の姿勢を利用した重心動揺の観察を通して骨格筋系、感覚系、および中枢神経系の機能障害を評価することが可能とされてきた。しかし、3次元空間におけるヒトの重心位置を直接測定することは困難である。そこで、重心位置に代わって両足圧中心位置を利用することが多く、空間的・時間的パラメータを用いた重心動揺検査法が考案されている。重心動揺計で記録されるものは正確には床反力中心点の変化であって重心の移動ではないが、通常の直立で緩やかな振幅の小さい動揺では床反力中心点と重心はほぼ一致していると見なし得る。求心性情報を十分に統合できない迷路障害やパーキンソン病などの平衡機能障害者は健常者と異なる特有の動揺型を示すことから、重心動揺検査は平衡機能障害をスクリーニングする有効な方法として臨床分野で利用されている。一般に健常者の場合、立位姿勢を保持することは非常に容易で重心動揺の変動量は小さい。従来の研究では、立位姿勢保持の環境に関わる種々の外乱刺激を付加して、重心動揺の変化から健常者の姿勢保持能力を捉える、あるいは、外乱の影響を受けて感覚器官の機能が低下した状態で重心動揺の測定を行ない、感覚器の変化が重心動揺変数に及ぼす影響を検討することが行なわれてきた。立位姿勢における重心動揺の連続記録を利用したこれらの検査法では重心動揺の量的側面が重視され、動揺の平均位置、面積、距離、速度などを算出している。この方法は動揺の分散量など或る時点における動揺の大きさをひとつの代表値として評価できる点で利便性に優れ、動揺の定量化から立位姿勢の一般的特徴を捉えることが可能で広く応用されている。しかし、これらの評価法は重心動揺変数の統計的な概要の提示に留まり、時間的に隣接する重心位置間の変位の大きさや方向、一連の重心動揺座標の時間的秩序など経時的な重心動揺のダイナミックな特性を捉えることができない点で限界があるといえる。

近年、これまでの解析方法では十分に捉えることができなかった重心動揺の経時的変動の特徴について、Collins and DeLuca (1993) は統計力学の観点からアプローチを行ない、立位姿勢時の重心動揺を決定論的および推計的なメカニズムの組合せの結果として考え、ランダムウォークのシステムとしてモデル化することができると仮定している。そして、確率論的な考えに基づくStabilogram-Diffusion Analysis (SDA)という新しい解析方法を提唱している。SDAを用いた研究の結果、立位姿勢の保持には2つの制御システム（開回路制御機構、閉回路制御機構）が作用して姿勢を保持することが知見として得られている。このことは、従来の研究では明らかにされなかった立位姿勢の重心動揺の経時的特性について言及したもので意義が認められる。しかし、SDAを用いた研究例は比較的少なく、また外乱刺激を付加した条件で検討した例はほとんどみられない。立位姿勢の重心動揺というひとつの現象を、従来の重心動揺変数とSDAによる2つの異なる変数を用いてそれぞれの観点から比較検討することは、重心動揺の特性を解明するうえで重要であると考えられる。特に、健常者を対象とした場合、安静時の検討に加えて種々の外乱刺激を付加した条件で重心動揺を検討することは、上述した2つの変数の評価を明確に反映すると考えられる。立位姿勢保持の環境には前庭系・半規管系、視覚系、および固有感覚と皮膚感覚の体性感覚系などからの感覚入力、筋群からの運動出力が深く関わっていることは既述した。なかでも種々の感覚入力を統合する中枢神経系、および姿勢保持のための運動出力を直接司る下腿筋群の働きは立位姿勢保持に深く関与していることから、両機能が影響を受けた場合

の静止立位姿勢の制御特性について検討することは、従来の解析方法、およびSDAで捉えられる重心動揺の評価を明らかにするうえで意義があると考えられる。

以上のことを踏まえて、本研究では、立位姿勢の重心動揺に影響を与える要因として中枢神経機能と下腿筋機能を選択し、各機能が低下した場合を例に、従来の定量的解析およびSDAによる時系列的解析を用いて静止立位姿勢における重心動揺の評価特性について比較検討することを目的とする。

2. 研究課題

本研究で解決すべき研究課題を2つ設定した。研究課題1では、中枢神経機能の低下が重心動揺変数に及ぼす影響について検討するためアルコール摂取を利用した。研究課題2では、下腿筋機能の低下が重心動揺変数に及ぼす影響について検討するため、反復的な足関節の底屈運動を利用した。

研究課題1：アルコール摂取による中枢神経機能の低下が静止立位姿勢の重心動揺に及ぼす影響について定量的解析、および時系列的解析（SDA）を用いて検討することを目的とした。

研究課題2：反復的な足関節の底屈運動による下腿筋機能の低下が静止立位姿勢の重心動揺に及ぼす影響について定量的解析、および時系列的解析（SDA）を用いて検討することを目的とした。

3. 研究方法

1) 被験者：研究課題1の被験者は健常な青年11名（男子5名、女子6名）、研究課題2の被験者は健常な青年12名（男子6名、女子6名）であった。

2) 測定装置：重心動揺の測定にはアニマ社製の重心動揺測定器G5500を用いた。この測定器はテコの原理を応用して水平面上の二等辺三角形の各頂点におかれた3個の垂直荷重センサー値から垂直加重の作用中心点を算出し、水平面の重心位置として計測するものである。

3) 測定手順：測定開始前の30分間、椅座位の安静状態を保持した。被験者は両上肢を体側に自然に垂らした開眼・閉足のRomberg姿勢で重心動揺計の上に立ち、目の高さに合わせて前方2mに設置した指標を注視するよう指示された。姿勢の安定性を確認した後1分間の重心動揺を測定した。重心動揺を2回測定する場合は、測定間に1分間の休息を挟んだ。データのサンプリング周波数は20Hzとした。測定間の座位姿勢による休息時には、両足裏が測定時の位置から移動しないように指示した。

研究課題1ではアルコール摂取による被験者の身体症状を把握するため、血圧および心拍数を測定した。また、中枢神経機能の低下を確認するために全身反応時間および閉眼片足立ち時間を測定した。被験者はアルコール（基本量日本酒3合、540ml）を10分間中に摂取したが、個人の体質や体格を考慮して体重あたりの相対量で調節した。アルコール摂取後10分、20分、30分経過した時点で、再度、重心動揺を2回、全身反応時間、閉眼片足立ち時間を測定した。

研究課題2では下腿筋の測定にバネ式懸垂指示はかり（SANKO, Japan）を用いた。下腿筋機能の低下を確認するために手指尖から血中乳酸濃度（Lactate Pro LT-1710, ARKRAY,

Japan) を測定した。被験者は立位姿勢で足関節底屈運動(測定板に固定された張力計を両足首で引き上げて爪先立ちになる)をメトロノーム(YAMAHA KYOHAN, Japan)のリズム(1分間に30回)に合わせて、常に最大筋力を発揮して行なうように指示された。筋力発揮値が最大筋力の50%に低下するまで運動を続けた。運動終了直後に血中乳酸濃度と重心動揺、5分後および10分後に重心動揺の測定を行った。

4) 重心動揺変数: 定量的解析では、先行研究において妥当性および信頼性が保障された以下の6領域、すなわち、動揺の距離に関する変数(4)、面積に関する変数(3)、速度に関する変数(3)、振幅度数に関する変数(4)、動揺および速度の周期性(パワースペクトル)変数(12)、動揺および速度のベクトル変数(8)から34変数を選択した。時系列解析では、Collins and DeLuca(1993)の提唱するSDA変数(拡散係数、スケーリング指数、臨界点)を用いた。

4. 研究結果の概要

本研究における各検討課題の結果から以下の結論が導き出された。

研究課題1: 静止立位姿勢における重心動揺の定量的および時系列的検討—アルコール摂取を手がかりとして—

定量的解析の結果、アルコールの摂取後、重心動揺の距離、速さ、方向性のような動揺量の大小に関する変数は大きく変動するが、重心の位置や動揺の周期性はほとんど変化しないことから、前者は神経機能の影響を強く受ける変数であり、後者への影響は小さいことが示唆された。アルコールの摂取後、姿勢の安定性は動揺の周期性は変えず動揺距離や速度を大きくして保持していると推察される。

時系列解析の結果、SDA変数(拡散係数、スケーリング指数、臨界点)の変化によって重心動揺の変動を捉えられることが確認された。Stabilogram-Diffusion plotからアルコールの摂取前後いずれにも臨界点が認められ、臨界点の前後で用いられる姿勢調節の戦略(臨界点前のshort-termでは開回路制御、臨界点後のlong-termでは閉回路制御)は安静時の戦略と同様であることが確認にされた。

研究課題2: 静止立位姿勢における重心動揺の定量的および時系列的検討—下腿筋機能の低下を手がかりとして—

定量的解析の結果、下腿筋の機能低下後、重心動揺の距離、速度、ベクトルのような動揺量の大小に関する変数が大きく変動した。これらはいずれも前後方向の動揺にかかわる変数であった。

時系列解析の結果、研究課題1のアルコールを摂取した場合と同様に、拡散係数、スケーリング指数、臨界点などのSDA変数の変化によって重心動揺の変動を捉えられることが確認された。下腿筋機能の低下による臨界点の変動、および臨界点前後における姿勢調節の戦略は安静時と同様の戦略が用いられることが明らかにされた。また、疲労の回復時間が長くなるにつれてSDA変数は安静時の状態に近く戻る傾向が認められた。

5. 総括

中枢神経機能と下腿筋機能を選択し、各機能の低下が静止立位姿勢の重心動揺に及ぼす影響について、従来から行われている定量的解析および SDA による時系列的解析を用いて検討した。定量的解析の結果、これまでの研究と同様に静止立位姿勢時の重心動揺の変動を量的な増大として把握することができた。また、中枢神経機能が低下した場合と下腿筋機能が低下した場合では、影響を受ける重心動揺変数の種類や数が異なることが明らかにされた。時系列的解析の結果、SDA 変数（拡散係数、スケーリング指数、臨界点）の変化によって重心動揺の変動を把握することができた。Stabilogram-Diffusion plot から安静時および機能低下後いずれの場合も臨界点が出現し、臨界点の前後で異なる姿勢調節の基本的戦略（前者で開回路制御、後者で閉回路制御）が用いられることが確認された。姿勢調節に関するこれらの知見は中枢神経機能、下腿筋機能いずれが低下した場合においても確認された。このことから、基本的な姿勢調節の戦略は変更されないものと推測された。定量的解析と SDA では、重心動揺のそれぞれ異なる変動特性を捉えることが可能であることが示唆された。

学位論文審査結果の要旨

確率論的な考えに基づく Stabilogram-Diffusion Analysis (SDA) が提唱されたことで、静止立位姿勢時における重心動揺の時系列的な変動特性を検討することが可能となった。本論文では、静止立位姿勢の保持に深く係わる中枢神経系および下腿筋機能の低下を手がかりに、従来の定量的解析および SDA による時系列解析を用いて、静止立位姿勢時における重心動揺について比較検討し、以下に示す成果を得ている。

定量的解析では、重心動揺の変動を複数の動揺変数値の変化（増大）として確認した。また、中枢神経系および下腿筋機能の低下から、両者では異なる動揺変数が影響を受けることを明らかにした。時系列解析では、臨界点が認められ、臨界点の前で開回路制御、後で閉回路制御の異なる姿勢制御戦略を用いること、また、制御系の戦略の変化（開回路制御→閉回路制御）は中枢神経系および下腿筋機能の低下時に共通して認められることを明らかにした。よって静止立位姿勢時の重心動揺は、定量的解析を用いることで動揺の量的な変動特性を捉えることが可能となり、また時系列解析を用いることで姿勢の保持に係わる制御戦略の変化を捉えることが可能になると判断された。

以上、本論文は静止立位姿勢時における重心動揺の特性を定量的および時系列解析を用いて解明し、姿勢調節戦略との係わりを提示したものであり意義深く、今後の研究の発展性もあり研究価値は高い。したがって、審査委員会は本論文が博士論文（学術）に値すると判定した。