

原 著

アルコール摂取時における座位重心動揺に関する研究

A study of stabilometry in sitting position with alcoholic intake

木下 史也¹⁾、森 柚樹²⁾、高田 宗樹²⁾

Fumiya Kinoshita¹⁾, Yuki Mori²⁾, Hiroki Takada²⁾

- 1) 名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻
- 2) 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻
- 1) Department of information Engineering, Graduate School of Information Science, Nagoya University
- 2) Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui

要旨

重心動揺検査は立位姿勢にて計測を行うのが一般的であり、座位姿勢における研究例は少ない。しかし、乗り物酔い、映像酔いなど座位時に酔いが発生することが多い。一方、アルコール摂取にともなう一時的な平衡機能障害は前庭脊髄反射を制御する小脳（前庭-小脳系）が薬理的な機能抑制を受けるために生じる。そのため、アルコール摂取により、平衡機能障害およびその度合いを人為的にコントロールし、平衡機能障害をシミュレートすることも可能である。本論文では、アルコール摂取により平衡機能障害を人為的に再現した。評価指標として外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長、および疎密度を用いて動揺図の評価を行った。これまでに、アルコール摂取にともなう動揺量の変化は直立姿勢において観測されているが、座位姿勢においても観測され得ることを示すことができた。

Summary

Body sway in the sitting position has been investigated by a few studies that do not evaluate severity of the motion sickness induced by watching movies, taking conveyance, and so on. Equilibrium function in the cerebellum (vestibule - cerebellar system) is deteriorated by medicinal actions, i.e. alcoholic ingestion. In general, it is able to adjust the degree of simulative effect on the human equilibrium function with alcohol intake. This study aimed to analyze the stabilograms recorded while the individuals were in the sitting position. This study included 9 healthy male subjects (age, 20 - 23 years) . Stabilometry was performed in the sitting position 5 min before, 5, 10, ..., and 60 min after the alcoholic load; the alcoholic load causes a decrease in the cerebellar equilibrium function controlling the vestibulospinal reflex. We could adjust the degree of simulative effect on the human equilibrium function. The stabilograms of these subjects were analyzed according to the area of sway, total locus length, total locus length per unit area, and our proposed indices. Thus, we succeeded in finding that the significant changes of these sway values, caused by alcohol intake, in the sitting position were similar to those in the standing position.

キーワード: 重心動揺, アルコール負荷, 座位姿勢, 動揺図, 平衡機能

Key words : Body sway, Alcoholic load, Sitting position, Stabilogram, Equilibrium function

1. はじめに

ヒトの直立姿勢において、身体は複雑なリズムにしたがって絶えず動いており、そのリズムの振幅および、周波数は様々な知覚系や運動系の機能に依存する¹⁾。この時、直立姿勢を保持させる機構は立ち直り反射と呼ばれ、この立ち直り反射は大脳皮質の随意的な制御を介さず起こるといわれており、生理学的には不随意的な調節機構によって司られている体平衡機能である^{2) 3)}。体平衡機能を解明することは進行性小脳変性症や大脳基底核障害、パーキンソン病などといった平衡障害をともなう症状を診断するためには不可欠である⁴⁾。

体平衡機能検査の一つとして施行される重心動揺検査は、平衡機能の総合的把握に対して有用である。重心動揺検査は重心の動揺が安定した時点から記録を開始し、60秒を基準とする簡易検査である。重心動揺検査の診断的価値を高める目的で、重心動揺検査の方法とそれによって記録される重心動揺の解析指標が提示されている。この解析指標として、総軌跡長、単位面積軌跡長などがあるが、特に後者は姿勢制御における微細な変動を示しているとみられ、脊髄固有受容性姿勢制御の機能を評価する尺度として考えられている⁵⁾。重心動揺の計測にはロンベルグ姿勢やマン姿勢などによる立位姿勢での計測が一般的である。ロンベルグ姿勢とは両方の爪先とかかとを合わせた状態での直立姿勢であり、マン姿勢とは片方のつま先を他方のかかとに接し、前後に足を揃える姿勢である。ロンベルグ姿勢やマン姿勢は支持基底面の小さい不安定な直立姿勢のため、外乱による立位制御系の変化や体平衡機能の異常が反映されやすい。一方、身体動揺は支持基底面の広さに反比例して動揺量が大きくなる。そのため、直立姿勢での重心動揺検査は、一定時間立位姿勢を保持することが困難な被験者に対しては施行不可能である。特に、高齢者や障害者、耳・神経系疾患患者の中には、この直立姿勢をとるのが困難な場合が存在する。このうち高齢者は、加齢による筋力低下と相まって、姿勢を保持する能力が低下するためである⁶⁾⁷⁾。そのため、支持基底面の小さいロンベルグ姿勢やマン姿勢は転倒の原因ともなりえ、転倒対策を講じることは非常に重要である。また、自動車や電車、船舶などの振れによって起こる乗り物酔い、シミュレータや汎用 Virtual Environments (VE) を利用したことによって生ずる VE 酔いは、座位時に発生する例が多い⁸⁾。しかし、重心動揺の計測は、ロンベルグ姿勢や

マン姿勢などの立位による計測が一般的であり、座位に着目した重心動揺を用いた研究は数が少なく、その計測手法も確立されていない。そのため、乗り物酔いや VE 酔いといった座位での計測が望ましい場合でも立位で計測が行われてきた。そこで、本論文では座位を用いた重心動揺検査の基礎的検討を行うことを目的とする。

重心動揺の検査手法に関する有効性を評価するには、健常な被験者群と平衡機能障害を有する被験者群との比較実験により示されることが多い。しかし、この比較実験では、被験者の確保やデータの再現性について困難をともなうこともある。そのような問題点を解決する方法の一つとして、アルコール摂取を用いることで平衡機能の低下およびその度合いを人為的に統制する方法がある⁹⁾。アルコールを摂取することにより、前庭脊髄反射を制御する小脳（前庭系-小脳系）が薬理的な機能抑制を受けるため、アルコール摂取後には動揺図のパターンに変化がみられることが知られている。そこで、本論文では座位を用いた重心動揺検査の基礎的検討を目的とし、アルコール摂取による平衡機能の低下を人為的に統制した実験を行い、検査事項の比較を行うことで、その有効性について検討を行う。

2. 方法

2.1 実験方法

被験者は耳・神経系疾患既往歴のない若年男性9名(20-23歳)を対象に行った。被験者には事前に実験の説明を充分に行い、書面にて了承を得た。本実験に用いた質問紙は無記名とし、研究の目的と意義、プライバシーの保護、データの取り扱い、中断の保証などを記載し、その回答を持って実験参加への同意を得た。また、被験者には実験を行う前に身長、体重、座高の身体情報と飲酒の頻度、喫煙の有無について問診を行った。

本実験では、重心動揺および心電図の同時測定を行った。重心動揺計は Wii Balance Board (Nintendo) を使用し、サンプリング周波数は 20 Hz とした。また、アルコール負荷が心循環器系に及ぼす影響を検討するために、ワイヤレス生体センサ (医療電子科学研究所) にて実験中の心電図を記録した。呼気アルコール濃度は ALCOSCENT (DA Tech Co., Ltd) にて測定を行った。

本実験では、背もたれのない高さ 60 cm の台の上に厚さ 1 cm の板を置き、その上に重心動揺計を地面

と水平に設置した。被験者には重心動揺計上で背筋を伸ばした座位をとらせ、両足非接地にて拳を軽く握り膝上に置くよう指示を行った (Fig.1)。被験者の左胸部に心電図電極を貼付し、10分間の安静後、開眼検査および閉眼検査にて各々1分間連続して測定した。その後、アルコールを摂取させ、アルコール摂取時刻を起点として5分毎に計12回 (計60分)、座位を用いた重心動揺検査を実施し、動揺図の記録を行った。心電図の記録は、5分毎に行われる重心動揺検査と同時に測定を開始し、開眼検査および閉眼検査測定中の約2分間測定した。また、アルコール非摂取時 (以降、コントロールと表記) においても上述した測定プロトコルと同様に実験を行った。なお、アルコール摂取時とコントロール時の実験はそれぞれ別日に行い、測定順は任意とした。アルコール摂取時においては、開眼検査の直前に呼気アルコール濃度を2回計測し、その平均値を記録した。開眼検査においては、目の高さで2 m前方の位置に赤色の凝視点をつけ、その視標を注視させた。

本論文で用いるアルコールの摂取量は、被験者間の血中アルコール濃度を一定に保つため、体重の関数である次式で決定した¹⁰⁾。

$$B_a \left[\frac{mg}{ml} \right] = C_a [\%] \times \frac{A [ml] \times 0.789 [g/ml]}{0.53 [l/ml] \times BW [kg]}$$

ここで B_a は血中アルコール濃度を表し、 C_a は摂取したアルコール濃度、 A はアルコールの摂取量、 BW は被験者の体重を表す $0.789g/ml$ はアルコールの比重であり、この分子は摂取したアルコールの量、分母は分布容量を表す。本論文では、血中アルコール濃度の上述した定義式に基づき、血中濃度が $0.75mg/ml$ となるように設定し、被験者はアルコール濃度40%の蒸留酒を30秒以内に摂取した。血中濃度が $0.75mg/ml$ の場合、アルコールの飲酒量は $60kg$ の被験者で約 $75ml$



Fig.1 Seated posture in the Stabilometry of this study

となる。このとき、被験者はほろ酔い初期に区分され、脈拍数と呼吸数が早くなる、話がなめらかになる、行動の抑制が外れるなどの所見があげられている¹¹⁾。立位時における重心動揺検査とアルコールに関する先行研究においても、アルコールの摂取量についてはほろ酔い初期区分が使用されており¹²⁾、これらの解析結果と比較を行うため本論文でもこのほろ酔い初期区分を用いた。

2.2 検査事項

開眼検査および閉眼検査で各サンプリング時間における x - y 座標を記録し、各指標の算出を行った。得られたデータは、開眼検査および閉眼検査ごとに x 方向 (右方向を正)、 y 方向 (前方方向を正) とする重心位置の時系列に変換し、外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長、疎密度について評価を行った。外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長は既往の研究において用いられている動揺図の解析指標であり、本論文でも日本めまい平衡医学会の定義式に基づいた。また、疎密度とは高田らによって提案された平面上に散布した複数点の密度を示す指標であり、この密度が立位姿勢の安定性に関与すると考えられている¹³⁾。各指標の定義については以下の通りである。

- ・外周面積： x - y 座標での動揺の外周の囲む線で包まれる面積であり、値の増加は動揺の不安定性を示す。
- ・総軌跡長：計測時間内の重心点の移動した総延長距離であり、値の増加は動揺の不安定性を示す。
- ・単位面積軌跡長：総軌跡長を外周面積で除した値のことであり、値の減少は動揺の不安定性を示す。
- ・疎密度：動揺図を正方形で分割し、各分割で足圧中心が通過した回数を求める。動揺が少ない、つまり局所的に密度が高い場所に存在するほど値は1に近づく。逆に、動揺が疎らになれば値は大きくなる。

また、 x 、 y 方向の各時系列に対しWaylandアルゴリズムによって推定される並進誤差を算出した^{14) 15)}。Waylandアルゴリズムによって推定される並進誤差 (*Etrans*) は位相空間に埋め込まれたアトラクタの軌道の滑らかさを定量的に評価する指標である。埋め込み空間で再構成されたアトラクタの軌道が滑らかであれば、時系列に決定論性があるといえる。並進誤差は正の値をとり、0に近ければ時系列を生成する数理モデルが決定論的、大きければ確率論的とみなすことができる。特に、対象がブラウン運動であるときは並進誤差の値は1と推定される。

本論文では、コントロール時の各解析指標の値とア

アルコール摂取時の各解析指標の値において飲酒の有無、各計測時刻を因子とする二元配置分散分析を行うとともに、母平均に差がないこと帰無仮説とする Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。ここで、有意水準は 0.05 とした。

重心動揺検査と同時に記録した各計測時刻での心電図からその心拍数を算出し、コントロール時の値とアルコール摂取時の値において、母平均に差がないこと帰無仮説とする Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。ここで、有意水準は 0.05 とした。

3. 結果

測定開始後 15 分時での閉眼検査におけるコントロール時およびアルコール摂取時での動揺図の典型例を Fig.2 に示す (同一被験者)。アルコール摂取時の動揺図分布の広がりには x 方向、y 方向ともにコントロール時に比べ大きくなった。また、飲酒後の動揺図分布の広がりについてはアルコール摂取時では x 方向に比べ y 方向に大きく変化した。次に、重心動揺検査と同時に測定した心電図から算出した心拍数および呼気アルコール濃度の結果 (平均 ± 標準偏差) を Fig.3, Fig.4 に

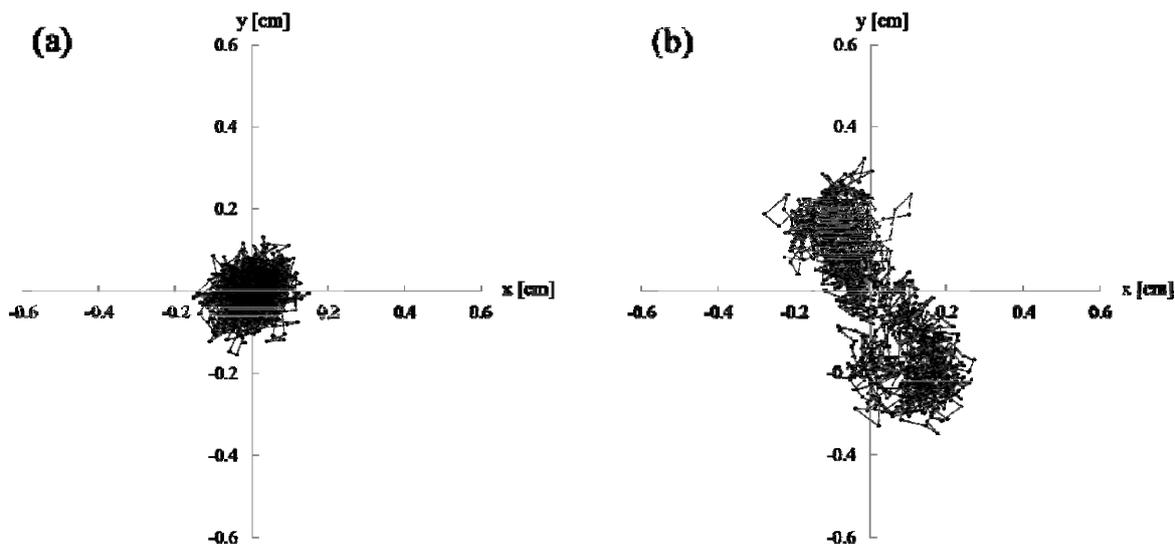


Fig. 2. Typical Stabilograms (a, Before alcohol intake with closed eyes; b, After alcohol intake with closed eyes)

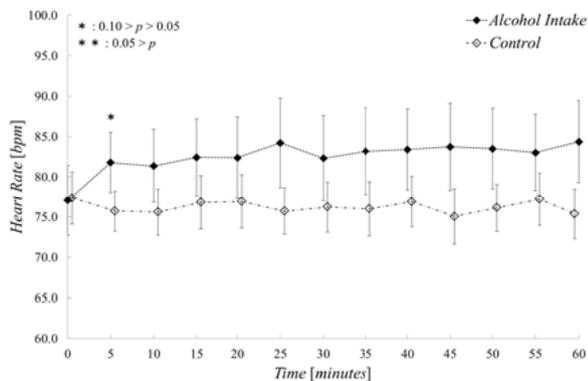


Fig. 3. Result of the Heart Rate (Average ± SD)

示す。ここで、測定開始後 0 分時の値は、測定開始前の 10 分間の前安静の後に測定した値であるため、アルコールの摂取は行っていない。測定開始後 0 分時の心拍数はコントロール時、アルコール摂取時ともに 75 bpm 程度であった。経時変化をみると、コントロール時の心拍数は 75 bpm 近傍で変動しているのに対し、アルコール摂取時の心拍数は 80 bpm 近傍で変動した。また、アルコール摂取時の心拍数では、測定開始後 60 分時においてもアルコール摂取前の値まで減少

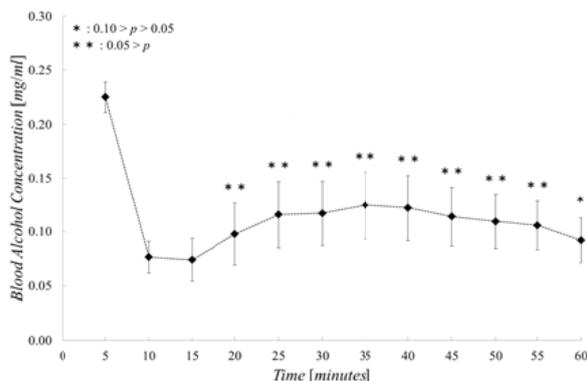


Fig. 4. Result of the Blood Alcohol Concentration (Average ± SD)

しなかった。コントロール時とアルコール摂取時の心拍数で同時刻の結果に対し、母平均に差がないこと帰無仮説とする Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。その結果、測定開始後 5 分時の心拍数でコントロール時に比べアルコール摂取時の値に増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。しかし、被験者間による分散が大きいため、測定開始後 10 分時以降の心拍数では有意差はみられなかった。呼気アルコール濃度の値はアルコール摂取後 5 分時で最大値となり、測定開始後 15 分時まで値

は低下した。測定開始後15分以降では呼気アルコール濃度の値は再度上昇し、測定開始後25～50分時まで値はほぼ一定となった。そこで、アルコール摂取後15分時の呼気アルコール濃度の値とアルコール摂取後20分以降の呼気アルコール濃度の値でWilcoxonの符号付順位和検定を行った。その結果、アルコール摂取後15分時の呼気アルコール濃度に比べアルコール

摂取後20～55分間で値は有意に増加した ($p < 0.05$)。また、アルコール摂取後15分時の呼気アルコール濃度に比べアルコール摂取後60分時には値に増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。

得られた動揺図から各解析指標を算出した。開眼検査および閉眼検査の結果(平均±標準偏差)をFig.5に示す。開眼検査の各解析指標において飲酒の有無、

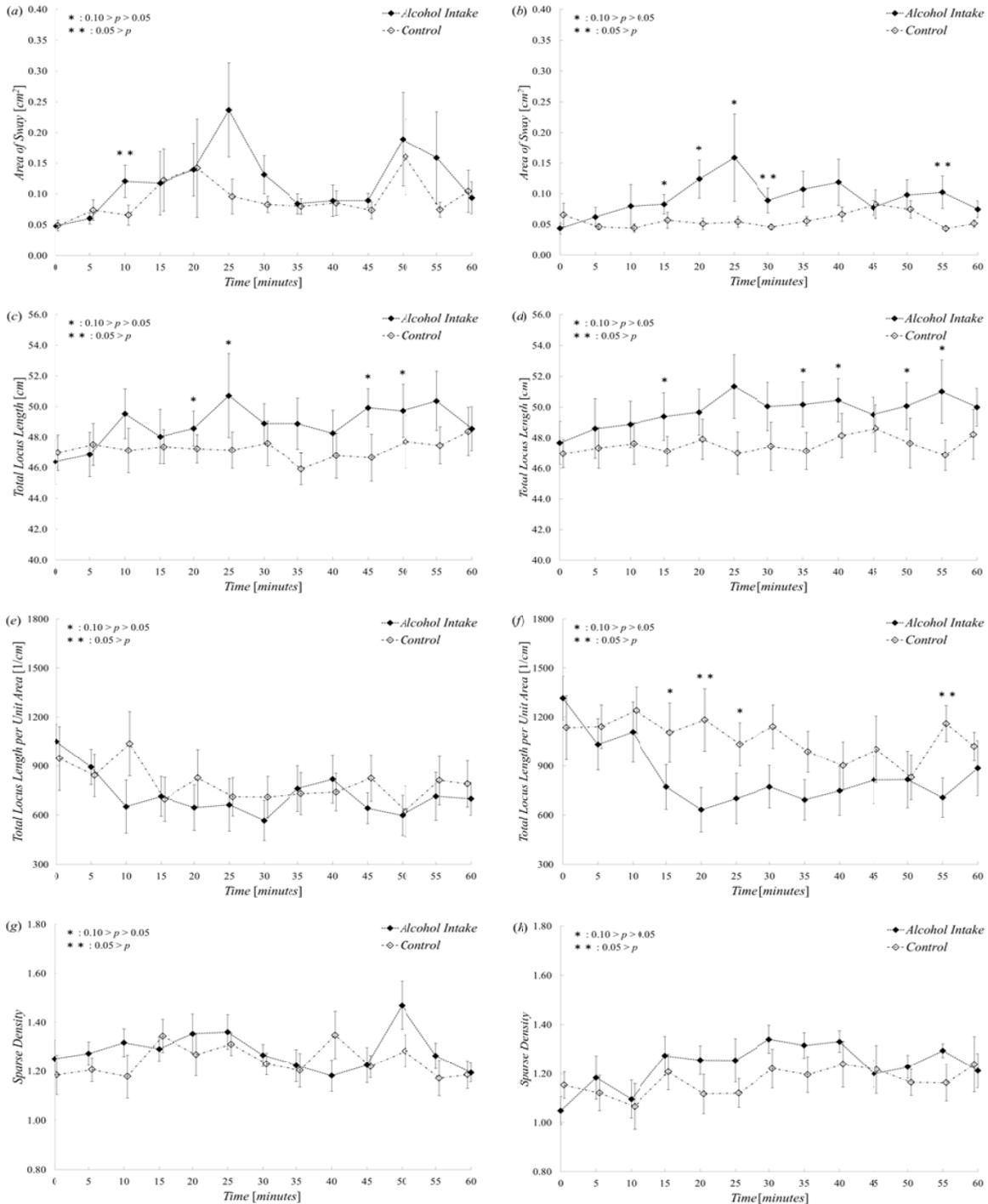


Fig. 5. Result of the Area of Sway, Total Locus Length, Total Locus Length per Unit Area, and Sparse Density (Average±SD) (a, Area of Sway with open eyes; b, Area of Sway with closed eyes; c, Total Locus Length with open eyes; d, Total Locus Length with closed eyes; e, Total Locus Length per Unit Area with open eyes; f, Total Locus Length per Unit Area with closed eyes; g, Sparse Density with open eyes; h, Sparse Density with closed eyes)

各計測時刻を因子とする二元配置分散分析を行った。その結果、開眼検査では飲酒の有無を因子とした場合の総軌跡長で主効果がみられた ($p < 0.05$)。閉眼検査の各解析指標において飲酒の有無、各計測時刻を因子とする二元配置分散分析を行った。その結果、閉眼検査では飲酒の有無を因子とした場合で外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長、疎密度で主効果がみられた ($p < 0.05$)。なお、すべての分散分析で交互作用はみられなかった。

コントロール時とアルコール摂取時の各解析指標で同時刻の結果に対し、Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。その結果、開眼検査の外周面積では測定開始後 10 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は有意に増加した ($p < 0.05$)。開眼検査の総軌跡長では測定開始後 20 分時、25 分時、45 分時、50 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。閉眼検査の外周面積では測定開始後 30 分時、55 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は有意に増加し ($p < 0.05$)、測定開始後 15 ~ 25 分時ではコントロール時に比べアルコール摂取時の値は増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。閉眼検査の総軌跡長では測定開始後 15 分時、35 分時、40 分時、50 分時、55 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。閉眼検査の単位面積軌跡長では測定開始後 20 分時、55 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は有意に減少し ($p < 0.05$)、測定開始後 15 分時、25 分時ではコントロール時に比べアルコール摂取時の値は減少傾向がみられた ($p < 0.10$)。

次に、開眼検査、閉眼検査時における x 、 y 方向の各時系列に対し Wayland アルゴリズムによって推定される並進誤差 (E_{trans}) を算出した。並進誤差の結果を Table.1 に示す。並進誤差の値は被験者による分散

値が大きいが、すべての時系列で値は 0.5 以上となった。また、各計測時刻で開眼検査、閉眼検査に共通して x 方向に比べ y 方向では値が小さくなる傾向がみられた。コントロール時とアルコール摂取時の x 、 y 方向における並進誤差で同時刻の結果に対し、Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。その結果、閉眼検査の y 方向において測定開始後 10 ~ 25 分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は有意に減少した ($p < 0.05$)。

4. 考察

重心動揺の計測は、ロンベルグ姿勢やマン姿勢などの立位による計測が一般的であり、座位に着目した重心動揺を用いた研究は数が少ない。そこで、本論文では座位を用いた重心動揺検査の基礎的検討を目的とし、アルコール摂取による平衡機能の低下を人為的に統制した実験を行い、検査事項の比較を行った。その結果、座位を用いた重心動揺検査ではアルコール摂取後 15 ~ 30 分時点で各解析指標にコントロール時との差異が多くみられた。また、重心動揺検査と同時計測した心拍数では、アルコール摂取後の 5 分時点で値に差異がみられ、呼気アルコール濃度ではアルコール摂取後 15 分時以降で値が再度上昇した。

本論文では、アルコール摂取によって平衡機能の低下を人為的に統制した。アルコールの吸収は約 25% が胃から、大部分は小腸上部から空腸の間で行われ、飲酒後の消化器官内のアルコールは通常 1 ~ 2 時間以内にはほぼ吸収される。通常、350ml 缶 1 本のビールのアルコールを摂取した場合、30 ~ 45 分で血中アルコール濃度はピークに達するが、飲酒量によってピークに達する時間は異なる。吸収されたアルコールの 95 ~ 98% は完全に酸化・分解されるが、アルコール代謝は吸収より遅いため、短時間でアルコールを摂取すれば体内にアルコールが蓄積されていく。本論文でのアル

Table. 1. Result of the Etrans (Average \pm SD)

Control	after the Rest	after 10 minutes	after 20 minutes	after 30 minutes	after 40 minutes
x direction's E_{trans} (open eye test)	0.93 \pm 0.10	0.96 \pm 0.08	0.97 \pm 0.05	0.77 \pm 0.12	0.79 \pm 0.13
y direction's E_{trans} (open eye test)	0.82 \pm 0.10	0.81 \pm 0.09	0.74 \pm 0.11	0.77 \pm 0.04	0.74 \pm 0.10
x direction's E_{trans} (close eye test)	1.00 \pm 0.07	0.87 \pm 0.08	0.81 \pm 0.09	0.76 \pm 0.11	1.01 \pm 0.09
y direction's E_{trans} (close eye test)	0.74 \pm 0.07	0.84 \pm 0.07	0.74 \pm 0.08	0.84 \pm 0.06	0.81 \pm 0.06
Alcohol Intake	after the Rest	after 10 minutes	after 20 minutes	after 30 minutes	after 40 minutes
x direction's E_{trans} (open eye test)	0.94 \pm 0.07	0.94 \pm 0.09	0.92 \pm 0.07	0.88 \pm 0.12	1.02 \pm 0.05
y direction's E_{trans} (open eye test)	0.82 \pm 0.11	0.67 \pm 0.07	0.61 \pm 0.07	0.82 \pm 0.11	0.71 \pm 0.12
x direction's E_{trans} (close eye test)	0.98 \pm 0.07	0.84 \pm 0.11	0.80 \pm 0.10	0.84 \pm 0.11	0.91 \pm 0.07
y direction's E_{trans} (close eye test)	0.76 \pm 0.08	0.64 \pm 0.06	0.59 \pm 0.09	0.88 \pm 0.08	0.78 \pm 0.06

コールの飲酒量は、血中アルコール濃度が0.75mg/mlになるように設定した。血中アルコール濃度が0.75mg/mlの場合、ほろ酔い初期に区分され、脈拍数と呼吸数が早くなる、話がなめらかになる、行動の抑制が外れるなどの所見があげられている。本論文で測定した呼気アルコール濃度の値では、アルコール摂取後5分時点で最大値を記録し、測定開始後15分時まで値は低下し、測定開始後15分以降では呼気アルコール濃度の値は再度上昇した。アルコール摂取後5分時点で最大値を記録した原因として、飲酒後は口内を水ですすぐといった処置を行ったが、口内に飲酒の際に用いた蒸留酒が残留してした可能性がある。そのため、飲酒後5分時には値が大きくなってしまったと考えられる。また、呼気アルコール濃度が再度上昇した原因として、体内でアルコールが分解される過程で発生したアルコールが食道を通り、呼気アルコール濃度から計測された可能性がある。そのため、アルコールの吸収によって引き起こされる平衡機能の低下はアルコールの分解が十分に更新した飲酒後の15分以降で現れていると考えられる。自律神経活動の指標として測定した心拍数では、コントロール時とアルコール摂取時において測定開始後5分時点でのみ有意傾向がみられた。しかし、アルコールの吸収によって引き起こされる平衡機能の低下に関しては、心拍数では確認することができなかった。

長時間計測による疲れなどの外的要因を減衰させるために、コントロール時とアルコール摂取時の同時刻での結果に対し、Wilcoxonの符号付順位和検定を行った。その結果、閉眼検査時の15～30分時点で外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長の値でコントロール時に比べアルコール摂取時は動揺が不安定になる傾向がみられた。また、本実験では開眼検査時に比べ閉眼検査時において有意差が多数みられた。先行研究では、アルコール摂取が立位での重心動揺に及ぼす影響を調べている。一般的に、開眼検査、閉眼検査のいずれにおいても、外周面積、実効面積、総軌跡長、単位面積軌跡長などの既存の指標により、コントロール時と各摂取時における動揺図のパターンを分類することが困難であることが統計学的に示されている¹²⁾。しかし、閉眼検査においては、アルコール摂取前と摂取後20～35分における動揺図のパターンについて差異を認めることがあった¹²⁾。これは、本論文の閉眼検査において計測時刻15～30分に記録された動揺図パターンがコントロール時のそれと差異がある可能性があることに対応する。即ち、これまでに、アルコール摂取にともな

う動揺量の変化は直立姿勢において観測されているが、座位においても観測され得る可能性がある。

また、開眼検査、閉眼検査の各時系列に対し、Waylandアルゴリズムによって推定される並進誤差を算出した。その結果、並進誤差の値はすべての被験者で値は0.5以上となった。並進誤差では、白色ノイズで汚染された時系列に対する数値実験の結果から、カオス過程と有色ノイズを識別するための閾値は0.5に設定される^{16) 17)}。時系列の変動に無規則な成分が多く含まれれば、並進誤差が増大する。逆に時系列データの生成過程に規則性があるならば並進誤差は急激に減少する。本論文で算出した並進誤差の値は被験者による分散値が大きいが、すべての時系列で値は0.5以上となった。そのため、重心動揺の各方向成分を構成する時系列は確率論的に構成されていると考えられる。アルコール摂取時とコントロール時のx、y方向における並進誤差で同時刻の結果に対し、Wilcoxonの符号付順位和検定を行った。その結果、閉眼検査のy方向において測定開始後10～25分時点でコントロール時に比べアルコール摂取時の値は有意に減少した(p<0.05)。これは、アルコール摂取後10～25分における平衡機能の低下が、不随意的な調節機構によって司られている微細な姿勢制御を抑制し、時系列の決定論性の増加に影響したと考えられる。y方向で並進誤差の値が減少した原因として、座位では身体を支持するための支持基底面がx方向(左右方向)に比べy方向(前後方向)に長い場合、重心位置が前後方向で大きく変動したと考えられる。

以上より、本論文で行った座位を用いた重心動揺検査でも、直立姿勢において観測されているアルコール摂取にともなう動揺量の変化は観測され得る可能性があり、座位重心動揺検査の有効性を評価することは可能であると考えられる。また、座位を用いたアルコール摂取にともなう決定論性の経時変化では、左右方向に比べ前後方向で大きく変化した。前後方向での決定論性の増加はアルコール摂取後10～25分時点で観測され、呼気アルコール濃度の再上昇時間とも一致している。このことから、血中アルコール濃度が0.75mg/mlの場合、血中アルコール濃度のピーク時間は飲酒後10～25分時に存在するのではないかと考えられる。また、重心動揺検査と同時に記録した心拍数ではアルコール摂取にともなう平衡機能の低下に関しては、確認することができなかった。そのため、アルコール摂取にともなう平衡機能の低下を確認するためには、自律神経系に比べ体平衡系がより適していると考えられる。

5. まとめ

立位姿勢時における重心動揺の検査方法は確立しているが、座位姿勢時における重心動揺の検査はほとんど行われてはいなかった。そのため、立位が困難な患者や高齢者などを対象として重心動揺検査に基づく体平衡機能検査を実施することはできなかった。しかし、座位時における重心動揺検査が確立すれば、これまで計測が困難であった重度の体平衡機能障害を持つ患者や高齢者を対象としての重心動揺検査、立位姿勢制御と座位姿勢制御の比較、シミュレータに起因する動揺病の検出などが可能になるため、新たな知見を得る可能性がある。そこで、本論文ではアルコール摂取によって平衡機能の低下を人為的に統制した実験を行い、外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長および疎密度の比較を行った。その結果、すでに立位で行われている先行研究で得られた知見に似通った結果が得られた。これは、アルコール摂取にともなう動揺量の変化は直立姿勢において観測されているが、座位姿勢においても観測され得る可能性を示している。また、本論文では解析手法として並進誤差といった非線形解析指標や呼吸アルコール濃度、心拍数といった各指標の経時変化を検討することで、アルコール摂取時における血中アルコール濃度のピーク時間の推定および動揺図を構成する時系列の各方向成分における決定論性についても議論を行った。さらに、本論文用いた Nintendo 社製の Wii Balance Board は、安価で簡便に重心動揺を計測できる測定機器である。そのため、福祉・ヘルスケア・作業現場での利用や座位姿勢での長時間労働による精神的な負担・疲労度の計量といった広範な応用と発展が期待でき、衛生学的にも意義深い。そのためには、今後、基礎的研究の蓄積と評価方法の確立が求められる。

謝辞

本論文の執筆にあたり、ご協力頂きましたすべての皆様に心より感謝申し上げます。また、名古屋大学情報科学研究科宮尾克教授に細部に渡り指導、助言頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

1. 大川剛, 時田喬, 柴田康成 他, 重心動揺検査 - 単位面積軌跡長の意義 - 健康者における検討. Equilibrium Research. 1995 ; 54 : 296-306
2. 加我君孝. めまいの構造. 東京 : 金原出版, 1992 ;

23-26, 95-100

3. D.A. Winter, A.E. Patla, F. Prince, M. Ishac. Stiffness control of balance in quiet standing. J Neurophysiol. 1998 ; 80 : 1211-1221
4. 大川剛, 時田喬, 柴田康成 他, 重心動揺検査 - 単位面積軌跡長の意義 - 臨床例における検討. Equilibrium Research. 1996 ; 55 (3) : 283-293
5. 鈴木淳一, 松永喬, 徳増厚二 他, 重心動揺検査の Q&A 手引き. Equilibrium Research. 1996 ; 55 (1) : 296-306
6. J. C. Stevens, M. Q. Patterson. Dimensions of spatial acuity in the touch sense - Change over the life span. Mot Res. 1995 ; 12 (1) : 29-47,
7. 平井俊策, 老化現象の解明と予防 触覚・痛覚の老化. 老年精神医学雑誌. 2002 ; 13 (6) : 632-637
8. K. Matsumoto, N. Fujii. Practical Method of Motion Sickness Evaluation. Mem School B.O.S.T. Kinki University. 2003 ; 12 : 37-47
9. 船越宏子, 竹内裕一, 河本勝之 他, アルコールの重心動揺におよぼす影響. Equilibrium Research. 2000 ; 59 : 534
10. 鶴飼卓監修. 急性中毒処置の手引き - 必須 272 種の化学製品と自然毒情報. 東京 : じほう, 1990 ; 182 - 183
11. アルコール保健指導マニュアル研究会. 健康日本 21 推進のためのアルコール保健指導マニュアル. 東京 : 社会保険研究所, 2003
12. 高田宗樹, 北岡良之, 宮尾克 他, 重心動揺検査における幾何学的な指標の物理学的意味 - アルコール摂取時の解析. Equilibrium Research. 2003 ; 62 (3) : 169-180
13. H. Takada, Y. Kitaoaka, M. Miyao et al. Physical Meaning on Geometrical Index for Stabilometry. Equilibrium Research. 2003 ; 62 (3) : 169-180
14. D. Nozaki, J.J. Collins, Y. Yamamoto. Mechanism of stochastic resonance enhancement in neuronal models driven by 1/f noise. Phys Rev E. 1999 ; 60 : 4637-4644
15. R. Wayland. Recognizing determinism in a time series. Phys Rev Lett. 1993 ; 70 : 530-582
16. 松本隆, 徳永隆治, 宮野尚哉 他, カオスと時系列. 東京 : 培風館, 2002
17. 小川重義, 確率解析と伊藤過程. 東京 : 朝倉書店, 2005