長時間の立体映像視聴が体平衡系および自律神経系に及ぼす影響

木下 史也^{*1}, 森 柚樹^{*2}, 杉浦 明弘^{*3}, 山川 達也^{*1},
松浦 康之^{*4}, 高田 宗樹^{*2}, 宮尾 克^{*1}

^{*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

^{*3} 岐阜医療科学大学保健学部放射線技術科学科

^{*4} 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科理学情報専攻

Effect of Viewing a Long Stereoscopic Film on Equilibrium Function and Autonomic Nervous System

Fumiya KINOSHITA^{*1}, Yuki MORI^{*2}, Akihiro SUGIURA^{*3}, Tatsuya YAMAKAWA^{*1},
Yasuyuki MATSUURA^{*4}, Hiroki TAKADA^{*2} and Masaru MIYAO^{*1}

^{*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

^{*3}Department of Radiology, Gifu University of Medical Science

^{*4}Department of Information and Basic Science, Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University

Abstract Objectives: Owing to the recent rapid advancements in image processing and three-dimensional (3-D) technologies, stereoscopic images can now be viewed on television as well as in theaters and on gaming consoles among others. However, with these advancements, there have also been reports on motion sickness and asthenopia induced by viewing stereoscopic films. Human equilibrium function deteriorates when viewing stereoscopic films, which may lead to motion sickness; however, the exact cause of such motion sickness remains unknown. Therefore, as part of hygiene research that contributes to society, it is important to consider the safety of viewing virtual 3D contents.

Methods: In this study, we investigated the effects of viewing 2-D/3-D video clips on the human body by stabilometry, electrogastrography (EGG), and subjective assessments. Seven subjects aged 22 to 24 viewed 2-D/3-D video clips for 60 min.

Results: A comparison of time series data obtained at rest shows a significant change in the EGG patterns 20 min after the start of viewing the video clips. Furthermore, sway values while viewing the 3-D video clips were considerably higher than those while viewing the 2-D video clips 60 min after the start of viewing.

Conclusions: These findings show that the autonomic nervous system is affected first by long-term viewing of stereoscopic films, and the equilibrium function deteriorates gradually over the course of the exposure.

Key words: stereoscopic film (立体視), motion sickness (動揺病), stabilometry (重心動揺検査), electrogastrography (胃電図検査), Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

1. はじめに

受付 2015 年 6 月 26 日, 受理 2015 年 10 月 15 日

Reprint requests to: Masaru MIYAO

Department of Information Engineering, Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8603, Japan

TEL: +81(52)789-4363

E-mail: mmiyao@is.nagoya-u.ac.jp

近年, 立体映像の表示技術の向上に伴い, 映画や家庭用テレビ, ゲーム機器などで立体映像の視聴は一般的になりつつある。立体映像の表示方式としては, 立体眼鏡などをかけて両眼視差のみで立体感を表す 2 眼式や多眼式をはじめ, 立体像を空間に描画する奥行標準化方式

(1), ホログラフィ方式 (2) など多くの方式が提案されている。しかし, 立体映像はその視聴条件により, 不快感や眩暈感など眼疲労の症状を引き起こすことが報告されている (3)。立体映像が生体に及ぼす影響についての知見は十分でなく, 実証研究を蓄積させることは, 安全な立体映像の視聴を検討する上で不可欠である (4)。

映像酔いの発生機序については, 動揺病のそれと同様に感覚不一致説が一般的である (5)。体平衡系は視覚系・前庭系・体性感覚系の情報を入力としているが, これらの情報の組み合わせが, それまでの経験によって確立した感覚系の情報の組み合わせと一致しない時に, 空間識が不安定となり頭痛・嘔吐などの動揺病症状が生ずるという仮説である。体平衡系で最も参照されると考えられる前庭系からの生体信号は, 脳幹に位置する前庭神経核にも投射される。平衡感覚信号はこの前庭神経核を介して, 脊髄運動ニューロンや眼運動ニューロン, 前庭小脳, 大脳皮質および脳幹自律中枢といった上位の中枢へ中継される。特に, 後者の前庭-自律神経系により, 前庭刺激が延髄の嘔吐中枢に達することを意味しており, 乗り物酔いも前庭自律神経反射によってもたらされる。また, 前庭系と自律神経系とは, 解剖学的にも電気生理学的にも密接な関係があることが知られている (6, 7)。これは酔いによる不快感との関係を強く示唆するものであり, 酔いを体平衡系の出力である重心動揺にて定量的に評価する根拠になり得る。

重心動揺を定量的に評価する一つの方法として, 重心動揺検査が存在する。重心動揺検査は体平衡系が安定したとみなせる時点から動揺図の記録を開始し, 60 秒間を基準とする検査であり, 体平衡系の安定性評価や中枢の疾患による平衡機能障害の診断など平衡機能の総合的把握に有用である。重心動揺の診断的価値を高める目的で動揺図の解析指標が提案されており, 総軌跡長, 単位面積軌跡長などが存在する (8)。一般的に, 重心動揺検査は立位により計測が行われるが, アルコール摂取が重心動揺に及ぼす影響に関する先行研究では, 立位で示された動揺量の増加が座位でもみられており, 酔いを座位における重心動揺を利用して評価することが検討されている (9)。

一方, 自律神経活動に関する生理的計測手法として胃腸の電気活動を体表面から記録する経皮的胃電図 (Electrogastrogram, EGG) が存在する (10)。胃電図は, 胃腸運動を制御する電気活動を無拘束に測定できるひとつの方法であり, 他の消化管機能検査法に比べて非侵襲で測定することが可能であるため, 長時間測定が可能である。そのため食事や睡眠時の生体状態評価, 疾病診断や病態評価への応用, 消化管運動に関する新しい知見を得ることが期待される。胃の電気活動を司るペースメーカーは胃体上部 1/3 大彎側に存在し, ここからヒトでは 1 分間に約 3 回の波 (3 cycle per minute, cpm) が幽門部に向かって電気活動を伝播している。このペースメーカーは迷走神経活動の支配を受けているが, 自発的に周期的電気活動を起こしている。これは Cajal の間質細胞, また

は Cajal の介在細胞 (Interstitial cells of Cajal, ICCs) と呼ばれる細胞群のネットワークによるものである (11-13)。

本論文では 60 分間の長時間立体映像視聴が体平衡系の出力である重心動揺検査および消化管運動の客観的指標である胃電図に及ぼす影響について検討した。また, Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) といった主観評価を交えることで, 長時間の立体映像視聴が生体に及ぼす影響について多角的評価を行った。

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 7 名 (平均土標準偏差: 22.3 ± 0.8 歳) を対象に行った。被験者には事前に実験の説明十分に行い, 了承を得た。なお, 本実験は名古屋大学情報科学研究科の倫理審査委員会の承認を得ている。

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。実験は, 20 分間の安静の後, 60 分間の映像視聴を行った。胃電図検査は 20 分間の安静および映像視聴開始後 60 分間を連続して記録した。重心動揺検査は 20 分間の安静の後, 映像視聴前の記録を行い, 映像視聴開始後 20 分ごとに計 3 回記録した。重心動揺検査は開眼検査, 閉眼検査を実地し, 開眼検査では映像を視聴したまま測定を行い, 測定時間はそれぞれ 1 分とした。本実験では重心動揺計として Wii Balance Board (Nintendo) を使用した。このシステムの測定点の座標は cm 単位で, 時間分解能は 0.01 sec である。胃電図検査は単極誘導で測定を行い, 生体アンプ MT11 (NEC メディカル) にて得られた胃電図のアナログデータを増幅し, データレコーダ PC216Ax (ソニー・プレジジョンテクノロジー) に記録した。胃電図の測定方法はいくつかの手法が提案されており, 電極の個数およびその貼付位置にも数種類の方法がある。しかし, どの手法も電極の貼付位置として胃のペースメーカーに最も近い部位は必ず測定している。そこで, 本論文でも胃のペースメーカーに最も近い部位に心電図用ディスプレイ電極ビトロード Bs (日本光電) を貼付した (Fig. 1)。なお, 電極の貼付は日本光電製スキンプュアにより皮膚抵抗を十分に低下させた後に行った。

映像は被験者から 2 m の距離に目の高さが中心になるよう設置された 40 インチディスプレイ KDL 40HX80R (SONY) 上に市販の両眼立体視映像およびその片眼視用の 2D 映像を提示した。映像は円偏光方式を用いた表示方式を採用し, 映像の提示順はランダムとした。なお, 実験は各被験者で別日に行った。各重心動揺検査の測定後, 被験者には SSQ 用紙に記入させ, 映像酔いに関する主観の評価を行った。日内変動の影響を考慮し, 全被験

Fig. 1 Electrode position

者平日の午後 2 時—午後 3 時の間に測定を開始し、食事は測定開始 2 時間前までに摂取するように指示を行った。

2.2 重心動揺検査による検査事項

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 (14)。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 座標における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。動揺が少なければ、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。

2.3 胃電図検査による検査事項

本論文では、記録した胃電図を 1 kHz にて A/D 変換を行い、時系列データを得た。混入筋電図や周りの電子機器からの電氣的雑音の除去のために、得られたデータに高域遮断周波数 0.15 Hz のローパスフィルタを適用し、高周波成分を除いたものに、さらに 1 Hz で再サンプリングを行い、ノイズ除去を行った。胃電図データは、映

像視聴開始後 20 分ごとに分割し、抽出した時系列についてそれぞれ解析した。

胃電図の解析には周波数解析と Wayland アルゴリズムによって推定される並進誤差なる統計量を用いた (15, 16)。胃電図の正常周期は 2.4–3.7 cpm であることから (17)、この周波数帯域に着目し、分割された胃電図データに高速フーリエ変換を行いピーク周波数および正常周期でのパワースペクトル密度を算出した。Wayland アルゴリズムによって推定される並進誤差 (E_{trans}) 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値モデルが決定論的、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。

2.4 検討事項

重心動揺検査により得られた映像視聴開始前および開始後の各動揺図について、開眼検査、閉眼検査における外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長および疎密度を算出した。各指標において視聴映像、視聴時間による差異を因子とする二元配置分散分析を行うとともに、各水準における母平均に差がないことを帰無仮説とする対応のある Wilcoxon の符号付き順位和検定を用いて多重比較を行った。胃電図データは、分割した各時系列においてピーク周波数、2.4–3.7 cpm でのパワースペクトル密度（以降、PSD と表記）および並進誤差を算出した。胃電図データでの各指標は映像視聴開始前と開始後 20 分ごとに Wilcoxon の符号付き順位和検定にて比較を行った。本論文では有意水準を 0.05 とした。

3. 結 果

映像視聴開始前および開始後 60 分時点で記録された開眼検査での動揺図の典型例を Fig. 2 に示す（同一被験者）。映像視聴開始前における開眼検査での動揺図分布の広がり（最大値–最小値）の平均±標準偏差は x 方向では 0.32 ± 0.11 cm、y 方向で 0.48 ± 0.26 cm となり、2D 映像視聴開始後 60 分時点では x 方向で 0.28 ± 0.03 cm、y 方向で 0.32 ± 0.08 cm となった。立体映像視聴開始後 60 分時点での動揺図分布の広がり x 方向で 0.43 ± 0.30 cm、y 方向で 0.65 ± 0.60 cm となった。動揺図分布の広がり、映像視聴開始前に比べ開始後 60 分時点において 2D 映像視聴時では x 方向、y 方向ともに小さくなり、立体映像視聴時では x 方向、y 方向ともに大きくなった。

映像視聴開始前および開始後 60 分時点で記録された胃電図波形の典型例を Fig. 3 に示す（同一被験者）。胃電図波形から、いずれの胃電図にも正常な周期変動（2.4–3.7 cpm）がみられ、腸管の電気活動由来の成分が重畳されている。

Fig. 2 Typical stabilograms. a, before viewing a video clip with opened eyes; b, viewing 2D video clip with opened eyes; c, viewing 3D video clip with opened eyes.

Fig. 3 Typical electrogastrogram. a, before viewing a video clip; b, viewing 2D video clip; c, viewing 3D video clip.

得られた動揺図から各解析指標を算出した。開眼検査での結果(平均±標準偏差)を Table 1 に示す。開眼検査の各解析指標において視聴映像, 視聴時間による差異を因子とする二元配置分散分析を行った。その結果, 視聴映像を因子とした場合で外周面積, 総軌跡長に主効果がみられた ($p < 0.05$)。また, 視聴時間による差異を因子とした場合で疎密度に主効果がみられた ($p < 0.05$)。なお, すべての指標で交互作用はみられなかった。開眼検査において 2D 映像視聴時では外周面積, 総軌跡長で開始前に比べ値が増加した。Wilcoxon の符号付き順位と検定の結果, 2D 映像視聴開始後 60 分

Table 1 Analytical result of indices for stabilograms with open eye test (average±standard deviation)

viewing 2D video clip	before viewing open eye test	viewing after 20 min open eye test	viewing after 40 min open eye test	viewing after 60 min open eye test
area of sway [cm ²]	0.07±0.02	0.05±0.01	0.08±0.02	0.04±0.01
total locus length [cm]	48.1±1.7	46.3±0.9	47.5±1.4	46.2±1.0
total locus length per unit area [1/cm]	927.2±151.2	1199.9±192.4	804.4±146.0	1363.5±113.0
sparse density	1.37±0.08	1.15±0.06	1.21±0.06	1.04±0.07
viewing 3D video clip	before viewing open eye test	viewing after 20 min open eye test	viewing after 40 min open eye test	viewing after 60 min open eye test
area of sway [cm ²]	0.06±0.01	0.10±0.03	0.20±0.12	0.19±0.14
total locus length [cm]	47.0±1.2	49.1±1.7	50.0±2.2	50.0±1.7
total locus length per unit area [1/cm]	928.5±177.9	979.1±290.8	901.2±233.9	951.3±218.9
sparse density	1.41±0.04	1.18±0.13	1.19±0.11	1.20±0.10

Table 2 Analytical result of indices for stabilograms with close eye test (average±standard deviation)

viewing 2D video clip	before viewing close eye test	viewing after 20 min close eye test	viewing after 40 min close eye test	viewing after 60 min close eye test
area of sway [cm ²]	0.04±0.01	0.06±0.02	0.06±0.02	0.07±0.01
total locus length [cm]	47.8±1.6	48.1±0.7	48.2±1.5	48.4±1.1
total locus length per unit area [1/cm]	1253.8±145.1	1241.4±238.6	1160.2±227.8	1019.8±256.8
sparse density	1.11±0.12	1.24±0.18	1.17±0.11	1.13±0.11
viewing 3D video clip	before viewing close eye test	viewing after 20 min close eye test	viewing after 40 min close eye test	viewing after 60 min close eye test
area of sway [cm ²]	0.05±0.01	0.14±0.07	0.06±0.01	0.07±0.01
total locus length [cm]	48.7±1.7	50.1±2.0	47.7±0.8	49.4±1.5
total locus length per unit area [1/cm]	1249.8±211.3	943.2±365.5	939.5±196.8	945.5±178.4
sparse density	1.23±0.07	1.17±0.11	1.12±0.09	1.26±0.07

Table 3 Analytical result of indices for electrogastrogram (average±standard deviation)

viewing 2D video clip	before viewing	viewing after 20 min	viewing after 40 min	viewing after 60 min
peak frequency [cpm]	3.52±0.30	3.23±0.24	3.66±0.42	3.31±0.19
PSD [μV^2]	0.18±0.02	0.18±0.02	0.17±0.01	0.18±0.01
E_{trans}	0.39±0.01	0.36±0.01	0.38±0.01	0.38±0.02
viewing 3D video clip	before viewing	viewing after 20 min	viewing after 40 min	viewing after 60 min
peak frequency [cpm]	3.64±0.27	3.20±0.15	2.95±0.20	2.96±0.21
PSD [μV^2]	0.15±0.01	0.19±0.01	0.18±0.01	0.17±0.01
E_{trans}	0.38±0.01	0.38±0.01	0.41±0.01	0.41±0.01

の疎密度で開始前に比べ値が有意に減少した ($p < 0.05$)。また、2D 映像視聴開始後 60 分時の総軌跡長および立体映像視聴開始後 40 分時、60 分時の疎密度で開始前に比べ値に減少傾向がみられた ($p < 0.10$)。2D 映像視聴開始後 60 分時の単位面積軌跡長および立体映像視聴開始後 20 分時、60 分時の総軌跡長で開始前に比べ値に増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。各解析指標において 2D 映像視聴時と立体映像視聴時での同時刻の値をそれぞれ比較した。その結果、映像視聴開始後 60 分における外周面積、総軌跡長で 2D 映像視聴時に比べ立体映像視聴時は値が有意に増加した ($p < 0.05$)。また、映像視聴開始後 60 分時の単位面積軌跡長で 2D 映像視聴時に比べ立体映像視聴時は値に減少傾向がみられた ($p < 0.10$)。

閉眼検査での結果 (平均±標準偏差) を Table 2 に示す。

閉眼検査の各解析指標において視聴映像、視聴時間による差異を因子とする二元配置分散分析を行った結果、すべての指標で主効果および交互作用はみられなかった。Wilcoxon の符号付き順位検定にて映像視聴開始前と開始後の各解析指標を比較した結果、閉眼検査ではすべての指標で有意差はみられなかった。また、閉眼検査での各解析指標において 2D 映像視聴時と立体映像視聴時の同時刻をそれぞれ比較した結果、すべての時刻で有意差はみられなかった。

分割した胃電図データに対し、各解析指標を算出した。結果 (平均±標準偏差) を Table 3 に示す。2D 映像視聴開始後 20 分時のピーク周波数および並進誤差で開始前比べ値が有意に減少した ($p < 0.05$)。また、立体映像視聴開始後ではすべての時刻で開始前に比べピーク周波数

Fig. 4 SSQ total score (average)

の値が有意に減少した ($p < 0.05$)。立体映像視聴開始後 20 分時の PSD は開始前に比べ値が有意に増加し ($p < 0.05$)、立体映像視聴開始後 40 分時、60 分時の PSD は開始前に比べ値に増加傾向がみられた ($p < 0.10$)。胃電図データにおいて並進誤差の値はいずれも 0.4 近傍で変動し、すべての時刻で 2D 映像視聴時に比べ立体映像視聴時は値が大きくなった。

視聴時間の増加にともない、眼疲労や映像酔いの程度の変化を観察するために SSQ を用いて主観的評価を行った。SSQ は、シミュレータ酔いに有効と考えられる 16 の主観評価項目を抽出したものである。映像視聴開始前および開始後でのトータルスコアの結果を Fig. 4 に示す。アンケートスコアの同値が多かったため有意差はみられなかったものの、視聴映像によらず時間経過にともないトータルスコアの値は増加した。また、すべての時刻において 2D 映像視聴時に比べ立体映像視聴時にトータルスコアの値は大きくなった。

4. 考 察

本実験では重心動揺検査、胃電図検査、SSQ により長時間の立体映像視聴が生体に及ぼす影響について検討した。その結果、重心動揺検査では映像視聴開始後 60 分時に視聴映像による差異が多くみられ、胃電図検査および SSQ では映像視聴開始後 20 分時から視聴映像による差異がみられた。

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。しかし、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。しかし、座位による重心動揺の計測はほとんど行われておらず、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

は長時間の立体映像曝露が体平衡系に及ぼす影響について、座位による重心動揺検査の記録を試みた。重心動揺検査を立位で行う場合、開眼検査に比べ閉眼検査では動揺図の分散値は大きくなることが知られている (18)。これは、閉眼検査では起立時の手がかりとなる視覚情報の消失に加え、120 秒間の連続直立による疲労が影響するためである。しかし、本実験で行った座位による重心動揺検査では開眼検査と閉眼検査の各解析指標を比較した結果、すべての指標で有意差はみられなかった。これは、座位による重心動揺検査では身体を支持するための支持基底面が立位に比べ広く、重心位置も立位に比べ低い位置にあることや、座位計測による疲労の減少が影響したと考えられる。

一方、開眼検査において、2D 映像視聴時では開始前に比べ各解析指標の値が安定になる傾向がみられたのに対し、立体映像視聴時では開始前に比べ各解析指標の値が不安定になる傾向がみられた。特に、2D 映像視聴時と立体映像視聴時では映像視聴開始後 60 分時に最も多く各解析指標の値に有意差がみられ、SSQ を用いた主観的評価からも映像視聴開始後 60 分時に視聴映像による差異が最も大きくみられた。先行研究による長時間の立体映像視聴の視機能と眼疲労に関する研究では、2D 映像視聴時の主な視機能（屈折度、瞳孔径、眼位等）は開始前と比較しても有意差がみられなかったのに対し、立体映像視聴時では開始後 60 分時に調節近点の値で開始前に比べ有意な延長および眼疲労を訴える割合の増加がみられている (19)。長時間の立体映像視聴は、瞳孔筋や毛様体筋といった瞳孔括約筋の運動が長時間にわたり繰り返されることで、筋疲労による視覚疲労が蓄積され、前庭神経核を介した平衡機能に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

消化管運動活動における自律神経活動の指標として用いた胃電図検査では、映像視聴開始後 20 分時には映像の差異に関わらずピーク周波数が低下した。胃腸活動は副交感神経活動の亢進によりその活動が活発になることから、映像視聴開始直後では副交感神経活動が抑制され

る可能性がある。また、2D 映像視聴時ではピーク周波数の低下は開始後 20 分時でのみみられたのに対し、立体映像視聴時ではすべての時刻でピーク周波数の低下がみられた。さらに、正常周期での PSD は、2D 映像視聴時では視聴前後で変化がみられなかったのに対し、立体映像視聴時では開始前に比べすべての時刻で値に増加傾向がみられた。また、胃電図から推定される並進誤差は、2D 映像視聴時に比べ立体映像視聴時では胃の電気活動が不規則になる傾向がみられた。

胃電図検査の結果から、映像視聴開始直後では映像の差異に関わらず、副交感神経活動は抑制され、映像の視聴時間が長くなることで映像の差異による副交感神経活動の抑制継続時間に影響がみられた。また、映像視聴が胃腸の自律神経活動に及ぼす影響の応答速度は体平衡系のそれに比べ速く応答することが確認された。自律神経活動が体平衡系における運動出力に関与することからも、立体映像を長時間視聴することで自律神経系に及ぼす影響が大きくなり、映像の差異による重心動揺検査の結果に影響を及ぼした可能性が示唆された。

5. ま と め

本論文では重心動揺検査、胃電図検査、SSQ を用いて多角的に長時間の立体映像視聴が生体に及ぼす影響について検討し、長時間の立体映像視聴により不快感が生じていることを主観的、客観的に評価した。重心動揺検査は、身体を支持するための支持基底面が小さい不安定な直立姿勢で行うことが一般的である。これは、直立姿勢が外乱による立位制御系の変化や体平衡系の異常を反映しやすいためである。しかし、重心動揺検査の測定姿勢として座位を用いることは、立位姿勢の困難な患者や高齢者などで新たな知見を得ることが可能とする。そこで、本論文では長時間の立体映像曝露が体平衡系に及ぼす影響について、座位を用いた重心動揺検査で検討を行った。その結果、立体映像を長時間視聴することで動揺図は不安定になる傾向を示した。また、重心動揺検査を座位で行う場合、座位では身体を支持するための基底面が立位に比べ広く、重心位置も立位に比べ低い位置にあることから立位に比べ動揺図分布の広がり小さくなる。そこで、既存の解析手法である外周面積や総軌跡長に加え、動揺図を構成する時系列の微小な変動に対し、非線形性を考慮する解析手法が必要であると考えられる。また、立体映像視聴が生体に及ぼす影響について胃電図検査を同時計測することで、体平衡系の応答速度が消化管運動の応答速度に比べ遅延があることが確認された。立体映像が生体に及ぼす影響についての知見は未だ十分でなく、そのメカニズムも解明されていない。立体映像の安全な視聴には、実証研究の蓄積に加え、その影響を定量的に評価していくことが必要である。

本論文は利益相反なしである。

文 献

- (1) Suyama S, Date M, Takada H. Three dimensional display system with dual frequency liquid crystal varifocal lens. *Jpn J Appl Phys* 2000;39:480-484.
- (2) Gabor D. A new microscopic principle. *Nature* 1948;161:777-779.
- (3) International Standard Organization. IWA3 2005 Image Safety-Reducing Determinism in a Time Series. *Phys Rev Lett* 1993;70:530-582.
- (4) 矢野澄男, 井出真司. 立体映像の見やすさと調節変動からみた視覚疲労. *映像メディア学会誌* 2001;55(5):711-717.
- (5) Reason JT, Brand JJ. Motion Sickness. London: Academic Press, 1975.
- (6) Barmack NH. Central Vestibular System: vestibular nuclei and posterior cerebellum. *Brain Res Bull* 2003;60:511-541.
- (7) Okawa T, Tokita T, Shibata Y, Ogawa T, Miyata H. Stabilometry: Significance of locus length per unit area (L/A). *Equilibrium Research* 1995;54(3):296-306.
- (8) 鈴木淳一, 松本 喬, 徳増厚二, 田口喜一郎, 渡辺行雄. 重心動揺検査の Q&A 手引き (1995). *Equilibrium Research* 1996;55(1):64-77.
- (9) Takada H, Amemori M, Matsuura Y. Stabilometry in Sitting Position. *IEEJ Trans PE, Information and Systems Society* 2012;132(10):1558-1562.
- (10) Alvarez WC. The electrogastrogram and what it shows. *J Am Med Assoc* 1922;78:1116-1119.
- (11) Cajal SR. Histologie du systeme nerveux de l'homme et des vertebres. 1911;2:942. (in French) (reprinted in English, Cajal SR, Swanson N, Swanson LW. *Histology of the Nervous System of Man and Vertebrates*. UK: Oxford University Press, 1995)
- (12) Homma S. Isopower mapping of the erectogastrogram (EGG). *J Auton Nerv Syst* 1997;62:163-166.
- (13) Nelsen TS, Becker JC. The electrogastrogram and what it shows. *J Am Med Assoc* 1922;78:1116-1119.
- (14) Takada H, Kitaoaka Y, Ishikawa M, Miyao M. Physical meaning on geometrical index for stabilometry. *Equilibrium Research* 2003;62(3):169-180.
- (15) Nozaki D, Collins JJ, Yamamoto Y. Mechanism of stochastic resonance enhancement in neuronal models driven by 1/f noise. *Phys Rev E* 1999;60:4637-4645.
- (16) Wayland R, Bromley D, Pickett D, Passamante A. Recognizing determinism in a time series. *Phys Rev Lett* 1993;70:530-582.
- (17) Kenneth LK, Robert M. *Handbook of Electro Gastrography*. Oxford University Press, 2004.
- (18) Imaoka K, Murase H, Fukuhara M. Collection of data for healthy subjects in stabilometry. *Equilibrium Research* 1997;12:1-84.
- (19) Namba T, Kobayashi Y, Tabuchi A, et al. Examination of visual function and asthenopia after continuous watching of three-dimensional images. *Folia Japonica de Ophthalmologica Clinica* 2013;6(1):10-16.