

高齢者の転倒予防を目的としたトレーニング法に関する研究
～転倒予防に効果的な運動プログラムの作成に向けた生体情報の計測と解析～

南部雅幸

目 次

要約	
第1章 はじめに	2
第2章 システム	5
第3章 方法	7
第4章 結果	10
第5章 考察	15
第6章 まとめ	 18
参考文献	19
業績一覧	19

高齢者の転倒予防を目的としたトレーニング法に関する研究
～転倒予防に効果的な運動プログラムの作成に向けた生体情報の計測と解析～

南部 雅幸 太田暁美 中村英夫

要約

近年、超高齢社会となった我が国では、高齢者による転倒事故が多発しており、それにより、要介護者が増加している。

そこで、視覚刺激による平衡感覚機能の影響を調査するため、周期的に動揺を繰り返すバーチャルリアリティコンテンツを提示し、提示前、提示時、提示後の重心動揺をそれぞれ3分間計測した。

実験の結果、バーチャルリアリティコンテンツ提示前よりも、提示後の重心動揺軌跡の振幅が縮小していることが認められた。また、バーチャルリアリティコンテンツ提示時には、そのコンテンツの動揺周期と一致した重心動揺が認められた。さらに、このバーチャルリアリティコンテンツを繰り返し使用することで、重心動揺面積が縮小されることが認められた。

以上のことより、バーチャルリアリティのような視覚刺激が平衡感覚機能の向上に寄与することが可能であることを確認した。

本システムは、高齢者の転倒予防だけでなく、若年者の平衡感覚機能の向上にも用いることが可能であると考えられるので、アスリートの訓練用にも転用が可能である。

第1章 はじめに

2007年(平成19年),我が国日本は超高齢社会となり,それ以降も高齢化率は上昇している.それに伴い,高齢者の転倒事故も増加しており,転倒による骨折が原因で要介護者となる高齢者が増加し問題となっている.一方で,コンピュータや家庭用ゲーム機の普及により,バーチャルリアリティ(Virtual Reality)が身近な存在となった.しかしそれに伴い,バーチャルリアリティ酔いと呼ばれる乗り物酔いに似た症状が問題となっている.本研究では,バーチャルリアリティを用いて平衡感覚機能の訓練を行い,転倒を予防するとともに,あらゆるスポーツに必要なバランス感覚の向上が可能なシステムの構築を目指した.

1.1 日本の高齢化とその問題

世界保健機構(WHO)では,65歳以上の人のことを高齢者と定義しており,高齢者が総人口に占める割合のことを「高齢化率」という.この高齢化率が7%を超えると「高齢化社会」,14%を超えると「高齢社会」,21%を超えると「超高齢社会」といわれている.日本では,2007年(平成19年)に超高齢社会を迎えてから,現在(平成22年8月現在確定値),高齢者は約2936万人,高齢化率は23%となり[1],高齢化率は増加の一步をたどっている.高齢者の人数が増加するに伴い,高齢者の要介護人数も増加している[2].この,主な原因は,脳血管障害,高齢による衰弱,転倒や骨折である,このうち,転倒や骨折は全体の約1割を占めており,高齢者の転倒防止が大きな課題となっている.

1.2 平衡感覚機能

平衡感覚は,重力の加速度や直線運動および回転運動の加速度を感じるものであり,身体や頭部の空間における位置認識や運動のために重要な機能である[3].平衡感覚の受容器の一つは前庭器官で,これは,卵形嚢・球形嚢,半規管からなる.卵形嚢・球形嚢の内側は有毛繊維の集団でできた平衡斑とよばれる領域があり,この場所で頭の位置,直進運動の加速度を知り,姿勢や位置の静的な平衡を保っている.

半規管は前,後,外と3方向にたがいにはほぼ垂直な平面上に直交する弓状を描く管からなっている.各半規管の一端の膨大部に膨大部稜という有毛繊維の集合体があり,主に回転の加速度の動的な平衡を保っている.通常ヒトは前庭器官からの情報,視覚からの情報,筋骨格系からの情報などを統合し,平衡感覚と

している。この平衡感覚機能の低下が高齢者において転倒が増加する現象の主な原因の一つである。

1.3 バーチャルリアリティ

バーチャルリアリティとは、コンピュータなどによって作り出された世界を、コンピュータグラフィックスなどを利用し、ユーザーの感覚を刺激するものを理工科学的に作り出す技術、及びその体系のことである。この技術は、テーマパークのアトラクション、テレビゲーム、乗り物の運転シミュレーションなど様々な分野で使用され、同時に利用者也子供から高齢者まで幅広い。そのため、バーチャルリアリティの品質や安全性などの保障が不可欠となっている。

しかしながら、バーチャルリアリティを使用することにより、バーチャルリアリティ酔いと呼ばれる乗り物酔いに似た症状が引き起こされ問題となっている[4]。



図1 バーチャルリアリティコンテンツの例

1.4 バーチャルリアリティ酔い

バーチャルリアリティ酔いとは、バーチャルリアリティを使用することで起こる動揺病の一種である。症状として、冷や汗、顔面蒼白、めまい、頭痛、悪心、吐き気などがあり、ひどい場合は嘔吐にまで至る。

発生の原因は、平衡感覚機能と視覚情報との齟齬が原因ではないかと言われているが、その機序は明ら

かにされていない。

1.6 本研究の目的

転倒の原因の一つが平衡感覚の低下であることから、訓練により平衡感覚機能が向上すれば転倒が予防できる可能性は高い。ところが、平衡感覚を総合的に訓練するためには、平衡感覚に刺激を加えなければならず、その訓練が転倒の危険を有することはいうまでもない。

他方、バーチャルリアリティによる視覚刺激が平衡感覚に影響を与える可能性があるのは、バーチャルリアリティ酔いの例より明らかである。したがって、バーチャルリアリティを使用し続けることで、平衡感覚機能が変化する可能性がある。また、それにより平衡感覚機能が向上するのであれば、見るだけで、平衡感覚機能が訓練できるようなバーチャルリアリティコンテンツの作成も可能である。

本研究では、バーチャルリアリティによる視覚刺激が、平衡感覚機能にどのような影響を与えるのかを調査するために、作成したバーチャルリアリティコンテンツを被験者に提示し、その重心動揺を継続的に計測し、使用するだけで平衡感覚機能が向上するようなシステムの構築にむけた、基礎的データの収集を目的とした。

第2章 システム

2.1 バーチャルリアリティコンテンツ

本研究では、VRML(Virtual Reality Modeling Language)と呼ばれる、バーチャルリアリティコンテンツ作成言語を用いバーチャルリアリティコンテンツを作成した。VRML は、バーチャルリアリティオブジェクトを容易に作成でき、Web 上での動作ができる 3 次元グラフィックの国際規格となっている言語である。

しかしながら、VRML はファイルフォーマットを定めているだけであり、そのファイルだけではファイル内容を再生することができない。そのため、ファイル内容を PC 画面に表示する“VRML ビューア”と呼ばれるソフトウェアが必要である。VRML ビューアは多くのグラフィックスメーカーから無料で提供されており、入手も容易である。本研究では、VRML ビューアに「Cortona VRML Client 5.1」を使用した。

バーチャルリアリティコンテンツでは、ビルや家などの建物が建った街並みを作成した。作成したバーチャルリアリティコンテンツは、意図的にバーチャルリアリティ酔いを引き起しそうなコンテンツとし、周期的に Y 軸方向に 45 度ずつ回転させた動的なものとした。



提示モニタには 52 型液晶モニタ (SHARP 社製) を使用した。

右45度

左45度

図2 提示したバーチャルリアリティコンテンツ

2.2 重心動揺計測

平衡感覚を計測するため、バーチャルリアリティコンテンツ使用中の被験者の重心動揺を計測した。計測装置には常用使用が容易なため、バランス Wii ボード (Nintendo 社製) を用い、Bluetooth で通信し PC 上で重心動揺軌跡をプロットした。

2.3 バランス Wii ボード

バランス Wii ボードは、Nintendo 社が開発した家庭用ゲーム機『Wii』のコントローラで、『Wii Fit』と組み合わせることにより、体重を計測することができる。4 つのストレインゲージ式フォースセンサーが内蔵されている板状のコントローラであり、計量法に定められた技術水準で製造されている[5]。

Bluetooth Ver1.2 で無線通信が可能であり、データを容易に PC に取り込むことが可能である。なお、サンプリング周期は 1/100 秒である。すなわち 1/100 秒毎に重心点が 1 点プロットされる。

計測精度は以下の表の通りである。

表1 バランス Wii ボードの精度

体重	精度
0～68kg	±0.8kg
68～100kg	±1.2kg
68～136kg	±0.2kg

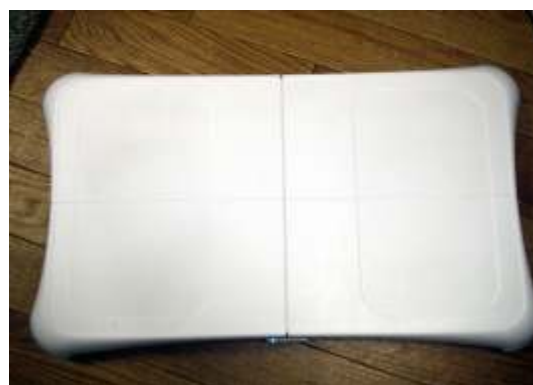


図3 バランス Wii ボード

第3章 方法

作成したバーチャルリアリティコンテンツを被験者に提示し、提示前、提示中、提示後の重心動揺を3分間計測した。その後、5分間の休憩の後、さらに重心動揺を3分間計測した。

また、コントロールとして、バーチャルリアリティを使用しない被験者により、起立状態のみの重心動揺を2回、5分間の休憩の後、再び3分間の重心動揺を計測した。



図4 計測の様子

3.1 被験者

本実験では、バーチャルリアリティコンテンツを提示した際に、重心動揺を伴う可能性があったため、転倒しにくい22±2歳の健常成人5名とし、インフォームドコンセントを行い、実験中に気分が悪くなったらすぐに実験を中止することとした(グループA)。

また、コントロールの被験者は、上記の被験者とは別の22歳±2歳の健常成人3名に行った(グループB)。

3.2 バーチャルリアリティコンテンツの提示

被験者の視野角のほとんどが覆われる位置として、図4に示すように、バーチャルリアリティコンテンツ提示モニタから、前方約 1m に重心動揺計を設置し、被験者を起立させ重心動揺を計測した。

グループ A には、3 分間起立して静止した後、作成したバーチャルリアリティコンテンツを 3 分間提示した。その後、5 分間の休憩をはさみ、再び 3 分間起立状態で静止させ、それぞれの重心動揺を計測し、その一連の計測を 2 日に 1 度、2 週間(計 6 回)行った。

また、グループ B には、3 分間起立して静止した後、バーチャルリアリティコンテンツを提示せずに 3 分間の起立状態の重心計測を行った。その後、5 分間の休憩をはさみ、3 分間の起立状態で静止させ、それぞれの重心動揺を計測した。

3.3 アンケート

全ての実験が終了した最終日に、グループ A に簡単なアンケートを行った。

アンケート内容は、バーチャルリアリティの視聴経験や乗り物酔いなど平衡感覚機能に対する耐性の有無や、実験後の変化などを調査した簡単なものである。

質問内容は以下の通り。

VRに関するアンケート

年齢 歳 性別 男 ・ 女

この度は、本研究にご協力頂きありがとうございます。以下の質問にお答えください。

1～6までは、本実験を行う前のものを、7は本実験を終えてからのものを記入して下さい。

1. TV ゲームやパソコン、TV の 1 日の平均使用時間はどれくらいですか？

TV ゲーム

a.3 時間以上 b. 1 ～2 時間 c.1 時間未満 d.全くやらない

パソコン

a.3 時間以上 b. 1 ～2 時間 c.1 時間未満 d.全くやらない

TV

a.3 時間以上 b. 1 ～2 時間 c.1 時間未満 d.全くみない

2. バーチャルリアリティ (VR) を今までに見たことがありますか？

a.2 度以上みたことがある b.1 度だけある c.見たことがない

3. 2 の質問でみたことがあると回答した方に質問です。VR を見て気分が悪くなったことはありますか？

a.よく悪くなる b.何度かみていたら悪くなくなった c.時々悪くなる d.全くない

4. 乗り物酔いがありますか？

a.ある b.時々する c.以前はあったがなくなった d.ない

5. スポーツを日頃から行っていますか？また、行っているなら、どれくらいの時間行っていますか？

a.全くしない b.以前はしていたが今はしていない c.している

()

6. TV ゲームをされている方に質問です。FPS ゲームをしたことはありますか？また、その際気分が悪くなった経験はありますか？

a.したことがある (気分が悪くなった・特に問題はなかった)

b.したことはない

7. 本実験を行う前と、行った後で、何か変化はありましたか？

例.車酔いがひどかったのに酔わなくなった、足元がふらつくようになった…等

()

ご協力ありがとうございました。

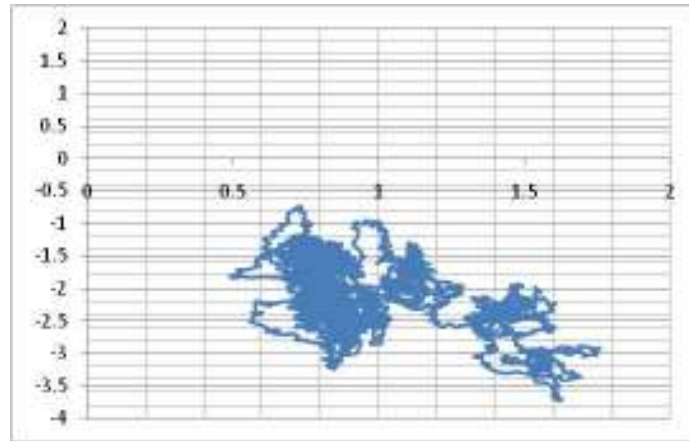
このアンケートは本研究でのみ使用させていただきます。

第4章 結果

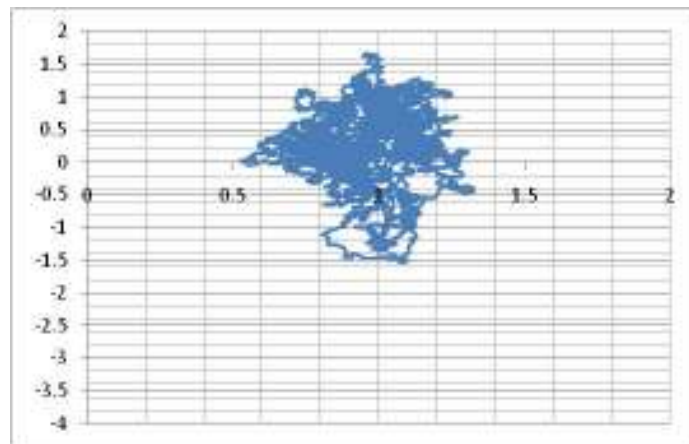
4.1 重心動揺軌跡

計測した被験者の重心動揺軌跡の例を図5および図6に示す.

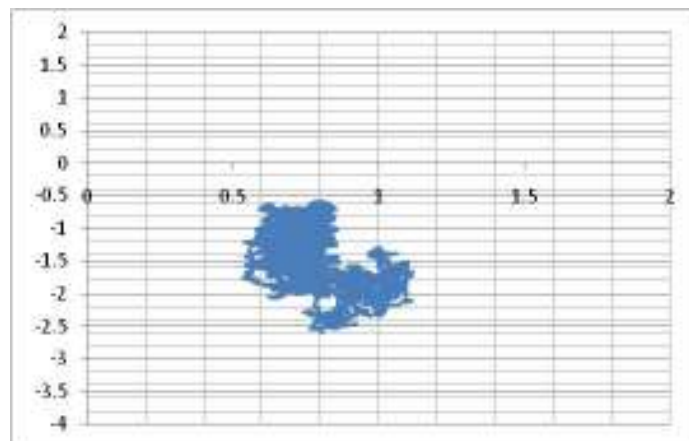
バーチャルリアリティ提示中の重心動揺はバーチャルリアリティの動きと同一周期で X 軸方向に広がり, 面積も拡大していた. その結果, グループ A では, バーチャルリアリティ提示前の X 軸の振幅より, バーチャルリアリティ提示後の X 軸の振幅の方が縮小していた. 一方で, バーチャルリアリティを提示しなかったグループ B では, X 軸の振幅には, 明確な変化は認められなかった.



(a) バーチャルリアリティ使用前

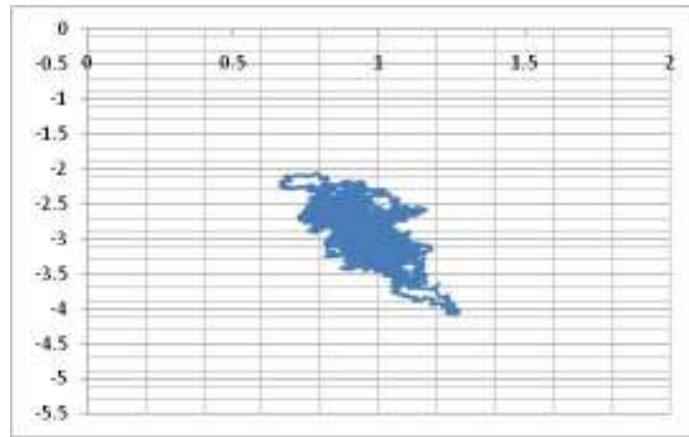


(b) バーチャルリアリティ使用中

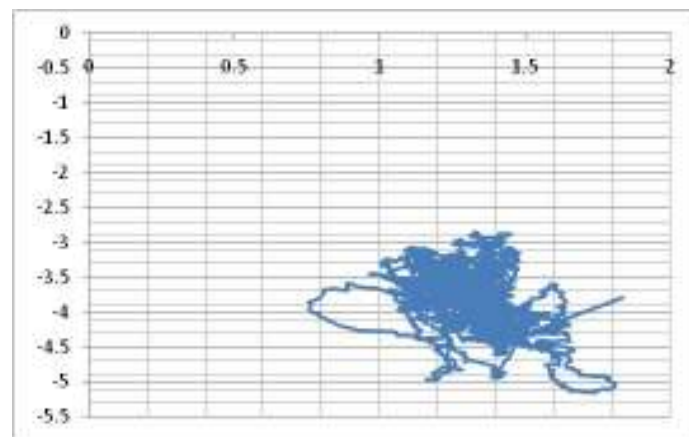


(c) バーチャルリアリティ使用後

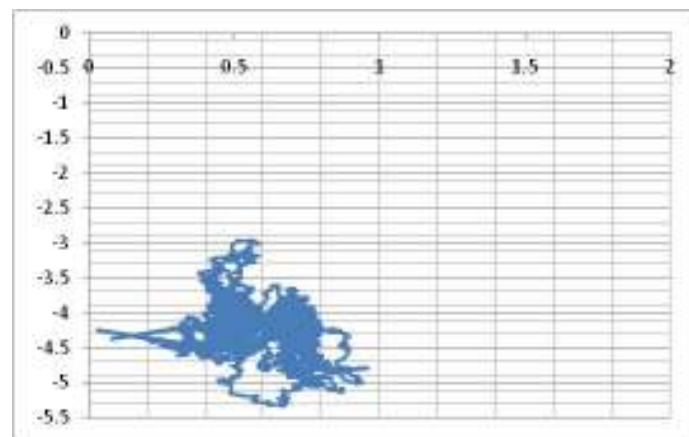
図5 被験者A(グループA)の重心動揺軌跡



(a) 開始直後—3 分後



(b) 開始 3 分後—6 分後



(c) 開始 6 分後—9 分後

図6 被験者 F(グループB)の重心動揺軌跡

4.2 重心動揺面積の変化

実験方法に対する慣れ、バーチャルリアリティオブジェクトに対する慣れを検証するため、継続して実験を行った。

その結果、表2に示すように、バーチャルリアリティオブジェクトを提示していたグループ A では、実験 1 日目、バーチャルリアリティ提示前の重心動揺面積と、実験最終日、バーチャルリアリティ提示後の重心動揺面積を比較すると、重心動揺面積が5例中4例で縮小していた。

一方、表3に示すように、バーチャルリアリティオブジェクトを提示していないグループ B では、実験 1 日目、1 度目の重心動揺面積と、実験最終日、3 度目の重心動揺面積を比較しても、重心動揺面積の縮小は認められなかった。

表2 グループ A の実験前後における重心動揺面積

	A	B	C	D	E
実験前の重心動揺面積 (初日の VR 前)	0.587	1.582	0.736	0.896	1.262
実験後の重心動揺面積 (最終日の VR 後)	0.497	0.992	0.419	0.911	0.493
差	0.090	0.590	0.317	-0.016	0.768

表3 グループ B の実験前後における重心動揺面積

	A	B	C
実験前の重心動揺面積 (初日の前)	1.763	1.360	2.367
実験後の重心動揺面積 (最終日の後)	1.008	2.081	2.971
差	0.754	-0.722	-0.604

4.3 アンケート

表4にアンケートの結果を示す. この結果から日頃のバーチャルリアリティやゲームなどを習慣的に使用しているかどうかと, 重心動揺軌跡長および面積の変化に関して相関は認められなかった. また, バーチャルリアリティを使用したことについて, 気分の変化など自覚症状も見受けられなかった.

表4 アンケートの結果

被験者	年齢	性別	Q1			Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
			ゲーム	PC	TV						
A	23	男	b	a	d	a	d	d	a	b	特になし
B	22	男	d	a	a	a	d	c	a	-	特になし
C	23	男	c	a	b	a	d	d	b	b	特になし
D	23	女	d	a	b	a	c	c	a	-	特になし
E	21	男	b	a	a	a	d	d	a	A (問題なし)	特になし

5章 考察

5.1 重心動揺軌跡

本実験で作成したバーチャルリアリティコンテンツの動揺方向がX軸方向(左右)であることより, 重心動揺軌跡の, X軸方向の振幅の差に着目した. 図7に示すようにグループAでは, バーチャルリアリティ提示前のX軸方向の振幅の差とバーチャルリアリティ提示後のX軸方向の振幅の差では, バーチャルリアリティ提示後の振幅の差の方が減少している結果となった. 一方, グループBでは, 図8に示すように1度目のX軸方向の振幅の差と, 3度目のX軸方向の振幅の差を比較しても変化が見受けられなかった.

そのため, バーチャルリアリティによる視覚刺激が, 重心動揺に何かしらの影響を与えたのではないかと考えられる.

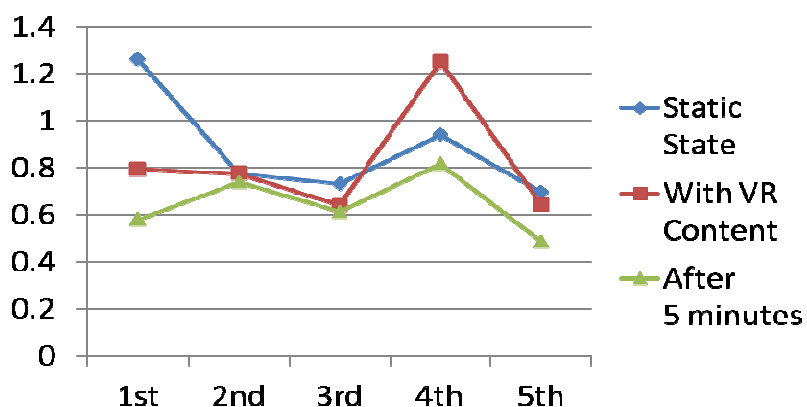


図7 被験者 A(グループ A)の重心動揺軌跡におけるX軸方向の振幅の変化

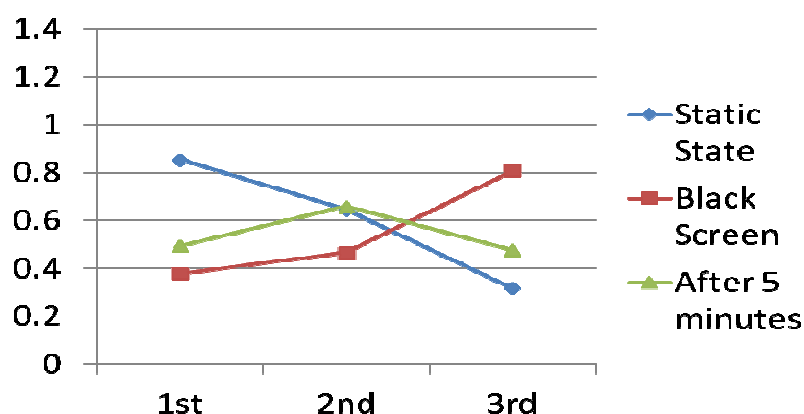


図8 被験者 F(グループ B)の重心動揺軌跡におけるX軸方向の振幅の変化

5.2 重心動揺面積の変化

視覚刺激を与えることにより、重心動揺が縮小しているのであれば、継続して実験を行った結果、重心動揺面積が減少しているのではないかと考え、重心動揺結果より、グループ A とグループ B の重心動揺面積に着目した。グループ A では、実験開始日のバーチャルリアリティ提示前重心動揺面積と実験最終日のバーチャルリアリティ提示後重心動揺面積を比較した結果、重心動揺面積は 5 人中 4 人が減少していることが確認された。また、グループ B では、実験開始日の 1 度目重心動揺面積と実験最終日の 3 度目重心動揺面積を比較しても、重心動揺面積は 3 人中 1 人減少しているだけであった。

以上より、実験方法に対する慣れは見受けられず、バーチャルリアリティオブジェクトを提示したことによる視覚刺激が、平衡感覚機能に影響を与え、重心動揺を小さくさせたのではないかと考えられる。

5.3 アンケート

アンケート結果から、バーチャルリアリティに対する一様な回答は得られなかった。また、実験後も特に自覚症状はなかった。

そのため、バーチャルリアリティ酔いが発生したという、自覚症状はアンケートの結果からは確認できなかった。しかしながら、一部の被験者において、バーチャルリアリティの使用後に何も表示されていないスクリーンを見ている際にもそれまで見ていたバーチャルリアリティコンテンツの揺れとほぼ同期する状態で眼球が運動する現象が観測された。この現象は眼振と呼ばれている現象で、いわゆる目が回った状態である。この時、被験者からは気分が悪くなったという訴えはなく、現象が確認された後にあらためて、バーチャルリアリティ酔いの自覚症状を問いなおしたにも関わらず、不快感などを訴えることはなかった。そのため、この被験者は、自分自身がバーチャルリアリティ酔いになっているにも関わらず、症状を自覚することがなかったと考えられる。したがって、自覚していなくとも、重心動揺に変化が認められること、眼振が発生したことなどから、バーチャルリアリティ酔いの症状がなくとも、平衡感覚への刺激が十分であり、平衡感覚機能を訓練できる可能性があるのではないかと考えられる。

5.4 今後の展望

本研究では、1 方向に揺れるバーチャルリアリティコンテンツでの検証を行った。今後、他の揺れ方向に対する検証や、バーチャルリアリティだけでなく実際の映像との比較などといった様々なデータ収集が必要である。また、実験人数や実験日数の増加による実験精度の向上も必要であると考えられる。

本研究の被験者は、安全性および、バーチャルリアリティへの親和性を考慮し、22歳前後の若年者であった。また、バーチャルリアリティコンテンツの親和性の有無に関わらず平衡感覚機能が向上していたことから、本システムは若年者の平衡感覚機能の訓練に十分利用可能であることが示唆された。

実際、ゲームなどを繰り返し利用することで、バーチャルリアリティ酔いが軽減されることが知られており、その結果が重心動揺の変化へ反映されることが確認できたということは、揺動を伴う画像を繰り返し見ることによりバランス感覚が向上する可能性が示唆されたことになる。特に、スキー、スケート、サーフィン、体操などの平衡感覚が重要になる競技において、シーズンオフや、日常的なトレーニングシステムへの転用も可能である。

第6章 まとめ

視覚刺激による平衡感覚機能の変化を調査するため、動きを持ったバーチャルリアリティコンテンツを用いて視覚刺激を与え、その刺激による重心動揺の変化を計測した。

その結果、バーチャルリアリティによる視覚刺激がヒトの平衡感覚に何かしらの影響を与え、重心動揺を変化させたことが確認された。これにより、視覚刺激のみで平衡感覚機能を鍛えられることが示唆された。

今後の展望として、実際に運動を伴わなくとも平衡感覚機能を鍛え、高齢者を対象とした転倒防止システムや、見るだけで平衡感覚の訓練が可能なアスリート向けコンテンツの開発が期待される。

参考文献

- [1] 総務省統計局, “統計データ 人口推計」平成 23 年 1 月報”, p1,総務省,2011
- [2] 厚生労働省大臣官房統計情報部, “平成 19 年国民生活基礎調査 一 要介護者等の状況一”, pp24-26, 厚生労働省,2008
- [3] 二宮石雄, 安藤啓司, 彼松一之, 松川寛二, ”スタンダード生理学“, pp332-333, 文光堂
- [4] 中川千鶴, 大須賀美恵子, 竹田仰, “映像と動きに誘発された「酔い」における生理反応の基礎的検討 ー大型 4 面立体映像提示装置と 6 軸モーションを用いてー”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.27-36, 2001
- [5] Ross A. Clark, Adam L. Bryan, Yonghao Pua, Paul MacCrony, KimBennell. Michael Hunt, “Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance,” Gait and Posture, vol.31, no. 3, pp307-310, March 2010

業績

- [1] 八木亜依子, 南部雅幸, ” Change of Balance Function using Virtual Reality” , PS2-10-4, 第 49 回日本生体医工学会大会, 大阪, 2010
- [2] 八木亜依子, 南部雅幸, ” VR 環境下における重心動揺と平衡感覚機能の変化” , 2-7-1, 生体医工学シンポジウム 2010, 北海道, 2010
- [3] A. Yagi, M. Nambu, “Change of Balance Function by Visual Stimulus using Virtual Reality” , Ubiquitous Healthcare 2010, Jeju, Korea, 2010
- [4] M. Nambu, A. Yagi, “Change of Balance Function in using Virtual Reality” , The 11th Japanese - Polish Seminar on Biomedical Engineering, Kusatsu, Japan, 2010