

# ガニマタバイバイ： ガニ股などの歩容改善方法の提案と検討

塩本理子<sup>1</sup> 市橋めぐ<sup>1</sup> 栗原一貴<sup>1</sup>

**概要**：歩容は人物の印象形成や魅力判断にも影響するとの指摘がある。しかし、気軽に楽しく歩容改善ができる商品やシステムは極めて少ない。そこで本研究では、印象の悪い歩容の一つ「ガニ股」に着目し、歩容改善ゲーム「ガニマタバイバイ」を提案する。ガニマタバイバイは、ガニ股改善に効果的な筋肉を鍛えるアプローチである筋トレゲームと、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチであるウォーキングゲームにより構成される。今回、VR ヘッドセット「Oculus Quest2」とモーションキャプチャシステム「Kinect v2」の2つのデバイスでプレイできるよう計4つのゲームを作成した。評価実験によって、これらのゲームそれぞれにおいてデバイスによる体験の違いを探り、またこれらのゲームを組み合わせることが歩容改善に有効であるか検証した。実験の結果、どちらのデバイスでも高評価を得られた。また、デバイスによる体験の違いはあまり見られないことが分かった。そして全ての実験協力者から、これらのゲームを組み合わせることは歩容改善に有効であるとの意見を得ることができた。最後に、ゲームに新たな機能を加えることで、より楽しくガニ股改善できるゲームを目指すと共に、ガニ股以外の歩容改善に繋がるような今後の発展について論ずる。

**キーワード**：歩容改善, ガニ股, Oculus Quest2, Kinect v2

## Ganimata Bye-bye: A proposal and discussion of gait improvement methods for bandy-legged people

RIKO SHIOMOTO<sup>†1</sup> MEGU ICHIHASHI<sup>†1</sup>  
KAZUTAKA KURIHARA<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

歩き方は人によって様々である。そのような歩き方のバリエーションのことを「歩容(Gait)」と言う。歩容はその人物の印象形成や魅力判断にも影響するとの指摘がある。中でも、腕を大きく振って、胸を張り、体軸が左右に揺れず、脚がガニ股開きになっていない歩行が美しいと評価されている[1]。

本研究では、印象の悪い歩容のひとつである「ガニ股」に着目し、手軽に楽しく歩容改善を目指すゲーム「ガニマタバイバイ」を提案する。ガニ股とは、O脚の一種である。O脚には、股関節が外向きかつ足首が小指側に回転している外旋型と、股関節が内向きかつ足首が親指側に回転している内旋型がある。前者の外旋型のO脚というのが所謂ガニ股である。よってガニ股を改善するためには、脚を内側に回転させる筋肉である内転筋を鍛える事が効果的である[2]。「ガニマタバイバイ」は、ガニ股改善に効果的な内転筋を鍛えるアプローチである筋トレゲームと、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチであるウォーキングゲームで構成される。またこれら2つのゲームを、VR ヘッドセット「Oculus Quest2」とモーションキャプチャシステム

「Kinect v2」の2つのデバイスでプレイするため、計4つのゲームを作成し、どちらのデバイスが歩容改善に適切か比較する。いずれもUnityにて開発している。

本研究では、デバイスによる体験の違いを探るため、16名に2種類のデバイスでガニマタバイバイを体験してもらい、アンケート調査を行った。また同時に、本ゲームの有用性を検証する。

本論文は以下の構成になっている。まず次章にて関連研究について述べ、3章ではガニマタバイバイのシステム概要を説明する。次に4章で評価実験の仮説、概要と手順を述べ、得られた結果とその分析を示す。その後、5章にて考察を示す。6章で今後の課題と展望について議論し、最後に7章でまとめを行う。

### 2. 関連研究

#### 2.1 ガニ股改善商品

代表的なガニ股改善商品には、足の内側が薄く外側が厚くなっているタイプのインソール[3]やサポーター[4]が挙げられる。これはガニ股の特徴のひとつである、足首が小指側に回転しているのを矯正するための設計である。またO脚改善商品としてSTYLEX[5]と呼ばれる、動く土台の上に乗って負荷をかけながら脚を内側や外側に回転させることで、内転筋・外旋筋の両方を鍛えられる健康器具が多く

<sup>†1</sup> 津田塾大学  
Tsuda University

の整骨院で使用されている。しかし価格が60万円以上と非常に高額である。本研究の提案システムでは、内転筋を鍛える筋トレゲームで内面からガニ股を矯正しつつ、ウォーキングゲームで実際に歩きながら自分の足の角度をリアルタイムで確認する事ができるため、モチベーションを高く維持しながら歩容改善ができる。また、Oculus Quest2 や Kinect v2 は STYLEX に比べると安価であるため、手軽に始められる。

## 2.2 歩容分析

センサによって歩容を分類する方法は、多く研究されている[6][7][8][9]。細井らは右足の靴の甲に加速度センサや6軸運動センサを取り付けることで、「ガニ股歩き」と「正常な歩き方」の差異を計測する方法を提案している[6][7]。また、堀らは加速度や角速度を計測できるセンサを足首に装着して歩行時の軌道推定を行い、歩行を定量的に評価する研究を行った[8]。新川らは腰に加速度センサを装着し、深層学習を用いて歩行姿勢を分類する方法を提案している[9]。このように、センサを身体に取り付けることで歩容を分類する提案が多くある一方で、歩容を改善する方法の提案は少ない。榎原らは、スマートフォンを腰に装着し、スマートフォンに内蔵された加速度センサを利用して悪い姿勢になると警告するアプリケーションを開発している[10]。しかしこれは歩行の際の姿勢改善方法の提案であり、歩容改善方法ではない。

そこで本研究では、Oculus Quest2 や Kinect v2 を利用した歩容改善ゲームを提案する。Oculus Quest2 のコントローラを足の甲に装着する方法と、Kinect v2 の骨格検出を利用する方法の2つの方法を取り、センサを身体に取り付ける方法と据え置き型のセンサを利用する方法のどちらが歩容改善に適しているかを調べる。またゲームとして提案する事で、楽しく歩容を改善する事を実現する。

## 3. 歩容改善ゲーム「ガニマタバイバイ」

### 3.1 システム概要

本システムは、ゲーミフィケーション[11]の概念を導入し、ガニ股改善を促すことを目的とする。本研究ではガニ股改善を促すにあたって2種類のアプローチが必要であると考え、それに対応する2種類のゲームを作成した。1つ目は、ガニ股改善に効果的な内転筋を鍛えるアプローチの「筋トレゲーム」である。これを継続することによって、より美しい歩容に近づくことができる。2つ目は、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチの「ウォーキングゲーム」である。これによって自分の歩容を確認し、「どれだけガニ股であるか」や「どれだけガニ股が改善されたか」を自覚することができる。これら2つを組み合わせることで、トレーニングと確認のサイクルが成立し、効率的にガニ股を改善できると考えた。

実装にあたって、「全身をトラッキングできること」と「角度を正確にとれること」が重要であると考えた。これは、筋トレゲームでは全身を使ってプレイすることが前提となっており、ウォーキングゲームでは足の角度を元にガニ股判定をするためである。そこで、前者を得意とするデバイスとして Kinect v2、後者を得意とするデバイスとして Oculus Quest2 が挙げられたため、本研究では2種類のゲームを2つのデバイスで実装し、どちらのデバイスが歩容改善に適しているか比較した。また、Oculus Quest2 のコントローラは本来手に持つ仕様であるため、今回新たに足に装着するためのアタッチメントを作成した。

### 3.2 システム構成

提案システムの構成について説明する。ソフトウェアは Unity[12]を用いて制作した。Oculus Quest2 版は、プレイヤーは図1のように Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメントを用い、Oculus Quest2 のコントローラを足に装着し、Oculus Quest2 のヘッドマウントディスプレイを頭に被り、十分なスペースを確保した環境でプレイする。Kinect v2 版は、図2のように Kinect v2 を三脚に固定し、プレイ画面はプロジェクターでスクリーンに投影し、十分なスペースを確保した環境でプレイする。以下にこれらの構成要素について詳細に述べる。

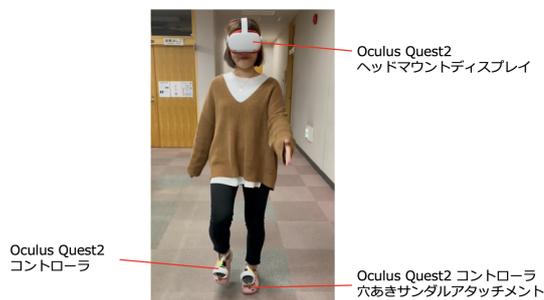


図1 ガニマタバイバイ Oculus Quest2 版 システム構成図  
Figure 1 The system configuration: Ganimata Bye-Bye Oculus Quest2 version.



図2 ガニマタバイバイ Oculus Quest2 版 システム構成図  
Figure 2 The system configuration: Ganimata Bye-Bye Kinect v2 version.

### 3.2.1 Oculus Quest2

Oculus Quest2[13]とは、Meta(旧称 Facebook)の一部門「Facebook Technologies」が開発した、自分の頭につけてVRの映像やゲームを楽しむ機器であり、Oculus Questの後継である。コントローラが2つ付属していて、ヘッドマウントディスプレイ・コントローラはいずれも無線である。また、PCがあれば誰でも開発可能となっている。

#### 3.2.1.1 Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメント

Oculus Quest2のコントローラを足に装着するにあたり、Oculus Quest2の足専用コントローラホルダー「Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメント」を新たに作成した。Autodesk社が提供する3D CADソフト「Fusion360」[14]を利用して3Dモデルを設計・作成し、株式会社サンスターが開発した3Dプリンター「UP mini 3Dプリンター」[15]で制作した。図3はFusion360上で3Dモデルを作成している様子である。本アタッチメントを利用することで、Oculus Quest2のコントローラを足の甲に装着することが可能になる。本アタッチメントは、図4のようにボルトや結束バンドを利用し、穴あきサンダルに固定している。またゲームをプレイする際は、激しい動きをしてもコントローラが外れないよう、図5のように面ファスナーベルトで固定している。

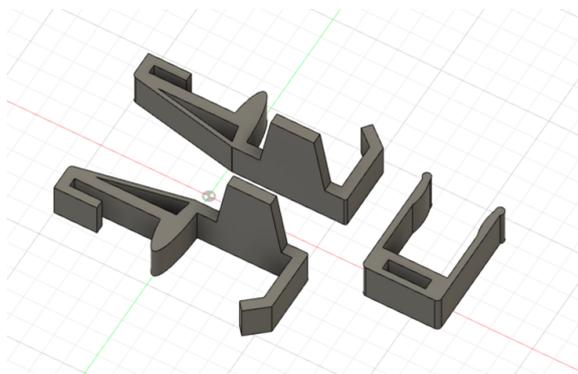


図3 Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメントの3Dモデル

Figure 3 3D models of the perforated sandal attachment for Oculus Quest2 controller.



図4 Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメント

Figure 4 The perforated sandal attachment for Oculus Quest2 controller.



図5 Oculus Quest2 コントローラ 穴あきサンダルアタッチメントにコントローラを装着し、面ファスナーベルトで固定した様子

Figure 5 Controllers are attached to the perforated sandal attachment for Oculus Quest2 and fixed with a hook-and-loop fastener belt.

### 3.2.2 Kinect v2

Kinect v2[16]とは、Microsoft社が開発した、身体の動きや音声認識によってゲーム機・コンピュータの操作ができるデバイスである。Windows PCで開発可能となっている。最大7人までの位置推定と、最大2人までの骨格追跡が可能となっていて、全25箇所の関節が認識できる。図6は、Kinect v2の骨格認識機能を利用した様子である。

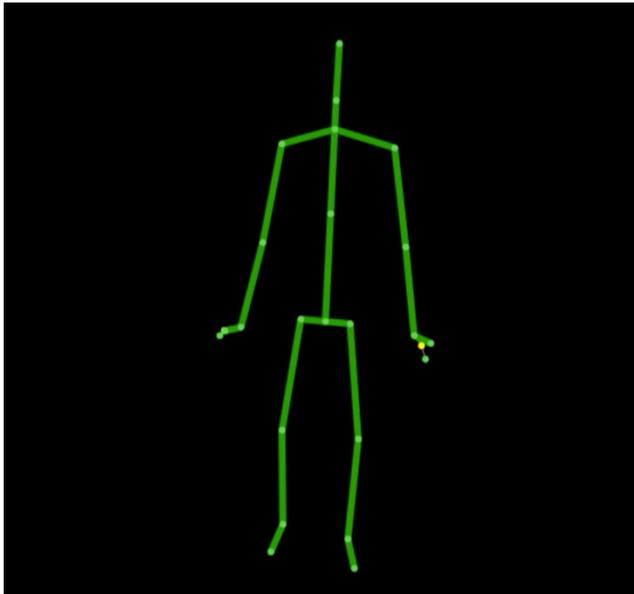


図 6 Kinect v2 の骨格認識機能を利用した様子

Figure 6 Example of using Kinect v2's skeleton recognition function.

### 3.2.3 Unity

Unity とは、Unity Technologies 社が開発したゲームエンジンである。開発者は C# を用いたプログラミングが可能であり、PC があれば誰でも開発可能となっている。様々なデバイスに対応した開発が可能であり、本研究で用いる Oculus Quest2、Kinect v2 向けの開発にも対応している。本研究で開発したゲームは、いずれも Unity で開発した。

### 3.3 筋トレゲーム

筋トレゲームは、歩容改善のアプローチの一つで、内転筋を鍛えることでガニ股改善を促すことを目的としている。また本ゲームをプレイすることで、楽しく、自然に内転筋を鍛えることを目指す。指定の姿勢を取らせ、障害物を回避するゲームのデザインでそれを実現する。

#### 3.3.1 Oculus Quest2 版

Oculus Quest2 版 筋トレゲームは、前方から迫ってくる壁を、指定された姿勢で避けるゲームである。Oculus Quest2 のコントローラを足に装着してプレイする。壁は人型にくり抜かれており、当たらないように避けることで、自然とガニ股改善に効果的な内転筋のトレーニングを促すことができる。図 7 の左側は実際のプレイ画面である。図 7 の右側は実際にプレイしている様子である。プレイ画面では経過時間と現在のスコアが左上の窓で確認でき、指定の姿勢が右下の窓で確認できる。壁にあたらずに避ける事ができれば 10 点加点される。頭か足が壁に当たると 5 点減点、両方が当たると 15 点減点される。足が壁に当たった場合は、足に装着したコントローラが振動する。迫ってくる壁は鏡のようになっており、頭の位置と足の位置の影が映る。これにより自分が壁に当たりそうか否か確認できる。



図 7 Oculus Quest2 版 筋トレゲーム

Figure 7 Muscle training game : Oculus Quest2 version.

#### 3.3.2 Kinect v2 版

Kinect v2 版 筋トレゲームは Oculus Quest2 版と同様に、前方から迫ってくる人型にくり抜かれた壁を、指定された姿勢で避けるゲームである。図 8 は実際のプレイ画面である。Oculus Quest2 版と同様に、経過時間と現在のスコアが左上の窓で確認でき、指定の姿勢が右下の窓で確認できる。Oculus Quest2 版との相違点は、体のどこかが当たってしまうと 5 点減点、頭と足が同時に当たってしまうと 15 点減点される点である。また Kinect v2 の骨格検出技術を使い、3D モデルにプレイヤーの骨格を投影しているため、プレイヤーは自分の姿を客観視することができる。

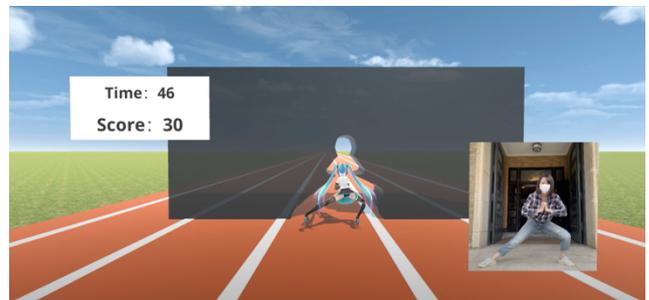


図 8 Kinect v2 版 筋トレゲーム

Figure 8 Muscle training game : Kinect v2 version.

### 3.4 ウォーキングゲーム

ウォーキングゲームは、歩容改善のアプローチの一つで、自分の歩容を確認し、「どれだけガニ股であるか」や「どれだけガニ股が改善されたか」を自覚することを目的としている。足跡に合わせて足踏みをしている最中に歩容を指摘することでそれを実現する。本研究では、著者らの経験から明らかにガニ股と感じられる 50 度以上をガニ股と定め、それに基づいて歩容を指摘する。

#### 3.4.1 Oculus Quest2 版

Oculus Quest2 版 ウォーキングゲームは、前方から同じ時間間隔で迫ってくる足跡に合わせて歩くゲームである。Oculus Quest2 のコントローラを足に装着してプレイする

ことで足の角度を常に認識することが可能になっている。この時の角度は、コントローラの先端と後端を結んだベクトル2つがなす角を指している。図9の左側は実際のプレイ画面である。図9の右側は実際にプレイしている様子である。プレイ画面では右上の窓で自分の足の角度が確認できる。左上の窓で経過時間と現在のスコアが確認できる。迫ってくる足跡とタイミングが合ったとき5点加点される。ガニ股と判定されると音声での注意があり、30点減点される。10秒以上ガニ股と判定されることなく正常な歩き方が続いたとき、音声で褒められ、30点加点される。



図9 Oculus Quest2版 ウォーキングゲーム  
 Figure 9 Walking game : Oculus Quest2 version.

### 3.4.2 Kinect v2 版

Kinect v2 版 ウォーキングゲームは、画面右方から同じ時間間隔で迫ってくる足跡に合わせて歩くゲームである。骨格認識によって自分の身体の動きとリンクした3Dアバターを画面上で確認しながらプレイする。このときアバターの足のつま先とかかとを結んだベクトル2つがなす角を足の角度としている。図10は実際のプレイ画面である。右上の窓で自分の足の角度が確認できる。右下の窓で経過時間と現在のスコアが確認できる。迫ってくる足跡とタイミングが合ったとき5点加点される。Kinect v2の骨格認識から得られる数値は常に不安定である。そこで、0.04秒ごと(Kinect v2のフレームレートが30fpsであることから)にガニ股か正常な歩き方かを判断しラベル付けしていき、10秒ごとにラベルの多さによってガニ股であったか、正常な歩き方であったかが判定される仕組みになっている。ガニ股であると判定されたとき、音声で注意され、30点減点される。正常な歩き方であると判定されたとき、音声で褒められ、30点加点される。

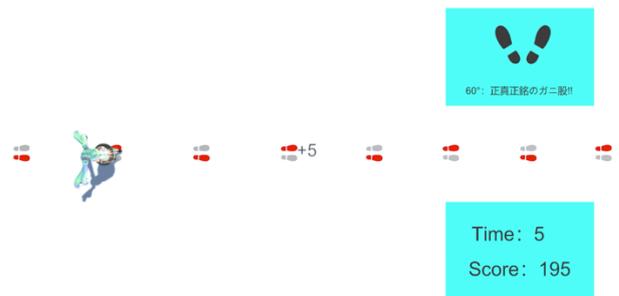


図10 Kinect v2版 ウォーキングゲーム  
 Figure 10 Walking game : Kinect v2 version.

## 4. 評価実験

### 4.1 実験

#### 4.1.1 仮説

筋トレゲーム、ウォーキングゲームそれぞれにおいて、Oculus Quest2版とKinect v2版にどのような差が出るか、仮説を立てた。

筋トレゲームでは、2つの観点で、Kinect v2版の方が優位になると予想する。1つ目は、「当たり判定の正確さ」である。Oculus Quest2版では足につけたコントローラがプレイヤー自身の身体で隠れ、壁に当たった際の判定が正確でなくなる場合がある。2つ目は、「自分の位置の認識のしやすさ」である。Kinect v2版では自分の姿が客観視できるのに対し、Oculus Quest2版ではプレイ画面が一人称視点となり、自分の位置が認識しにくい。したがって、総合的にKinect v2版の方が優位になると考える。

ウォーキングゲームでは、2つの観点で、Oculus Quest2版の方が優位になると予想する。1つ目は、「ガニ股指摘のタイミングの適切さ」である。Kinect v2版は10秒に1回歩容を指摘するのに対し、Oculus Quest2版はガニ股であることを逐一指摘するため、すぐに歩容を直すことができる。2つ目は、「ガニ股判定の正確さ」である。Oculus Quest2版はコントローラがプレイヤー自身の身体で隠れてしまった際に認識されなくなってしまう場合もあり、この上なく正確であるとは言えないが、ある程度の精度を保ったまま足の座標をピンポイントで取れる。それに対しKinect v2版は数値が常に不安定であり、かつ足の角度がある一定の数値以上は認識できなくなっていて、より正確性に欠ける。したがって、総合的にOculus Quest2版の方が優位になると考える。

これらのことを検証するため、以下の実験を行う。

#### 4.1.2 実験概要

歩容の美しさによらず様々な人に、ガニマタパイパイをプレイしてもらい、筋トレゲーム・ウォーキングゲームそれぞれにおいて、デバイスによる体験の違いを探ることが実験の目的である。また同時に、本ゲームの有用性を検証する。

実験には、津田塾大学の学生 16 名に参加してもらった。また、Kinect v2 での骨格検出が正確になるよう、動きやすい服装での参加を依頼した。

実験ではガニマタバイバイ Oculus Quest2 版とガニマタバイバイ Kinect v2 版を体験してもらい、歩容改善ゲームとして重要な要素を満たしているか、各 4 項目を Visual Analogue Scale によって評価してもらった。このとき、10cm の線分に縦線で記入してもらった。またゲームの感想や、本ゲームは歩容改善のために有効であるか、記述形式のアンケートによって調査し評価に繋げる。

#### 4.1.3 実験手順

まず実験を始める前に、実験協力者にガニマタバイバイ Oculus Quest2 版の紹介映像[17]を見てもらい、本ゲームの狙いを理解してもらった。その後、Kinect v2 版を実際にプレイしている様子を見せながら、改めてプレイ方法や注意点を口頭で説明した。

16 名の実験協力者には、筋トレゲーム・ウォーキングゲームの 2 種類を、Oculus Quest2 版・Kinect v2 版の 2 つのデバイスでプレイしてもらい、計 4 つのゲームをプレイしてもらった。順序効果を相殺するため、プレイする順番を 4 パターン用意し、実験協力者によって変更した。また実験協力者には、各ゲームをプレイする度にアンケートに回答してもらった。

Oculus Quest2 版の実験の際は、実験者が設定を行った後、実験協力者に Oculus Quest2 のヘッドマウントディスプレイを被ってもらい、実験者がスタートボタンを押してゲームを開始した。Kinect v2 版の実験の際は、Kinect v2 は三脚で固定し、実験協力者には Kinect v2 から 1.5m 離れたところに立ってもらい、実験者がスタートボタンを押して開始した。Kinect v2 版のプレイ画面はプロジェクターで投影し、ゲーム画面が明瞭に見えるようにした。ゲームのプレイ時間に関しては、筋トレゲームは 60 秒間、ウォーキングゲームは 45 秒間で行った。

#### 4.1.4 評価アンケート

本研究の評価アンケートでは、Visual Analogue Scale を採用した。

Visual Analogue Scale (VAS) とはスケール調査(評点尺度)の一手法である[18]。今回使用した VAS によるアンケートの一つを図 11 に示す。図中の線分の長さは 10cm であり、実験協力者は各項目に対し、線分上の任意の箇所に縦線を記入する。10cm 線分の左端から記入してもらった縦線までの長さを測り、点数とした。このとき、単位は cm、小数点第 3 位を四捨五入とした。それぞれのアンケートに対して点数を求め、平均値と標準偏差を算出した。

1.1 内転筋は鍛えられましたか。  
この上なくそう思う 全くそう思わない

図 11 アンケートの一例

Figure 11 An example of a questionnaire.

筋トレゲームにおいては、「内転筋は鍛えられたか」「壁を避けた際や当たった際の判定の正確さ」「ゲームをプレイしている際、自分の位置は認識しやすかったか」「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」の 4 つの項目を、Oculus Quest2 版と Kinect v2 版において、それぞれ Visual Analogue Scale によって回答してもらった。アンケート項目「壁を避けた際や当たった際の判定の正確さ」「ゲームをプレイしている際、自分の位置は認識しやすかったか」は、4.1.1 項で述べた仮説の 2 つの観点と対応しており、Kinect v2 版の方が優れていることを示すために用意した。また、他 2 つのアンケート項目は、より議論を深めるために用意した。

ウォーキングゲームにおいては、「普段より足の角度を意識して歩くことができたか」「ガニ股指摘のタイミングの適切さ」「ガニ股判定の正確さ」「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」の 4 つの項目を、Oculus Quest2 版と Kinect v2 版において、それぞれ Visual Analogue Scale によって回答してもらった。アンケート項目「ガニ股指摘のタイミングの適切さ」「ガニ股判定の正確さ」では、4.1.1 項で述べた仮説の 2 つの観点と対応しており、Oculus Quest2 版の方が優れていることを示すために用意した。また、他 2 つのアンケート項目は、より議論を深めるために用意した。

また、それぞれのゲームの感想、歩容改善のために必要な筋肉を鍛えるアプローチは有効か、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチは有効か、またこれら 2 つのアプローチを組み合わせることは有効か、記述形式のアンケートによって調査した。

#### 4.2 実験結果

Oculus Quest2 版の筋トレゲーム 4 項目と Kinect v2 版の筋トレゲーム 4 項目の Visual Analogue Scale のアンケートの結果の平均値、分散、標準偏差を表 1、表 2 に、Oculus Quest2 版のウォーキングゲーム 4 項目と Kinect v2 版のウォーキングゲーム 4 項目の Visual Analogue Scale のアンケートの結果の平均値、分散、標準偏差を表 3、表 4 に示す。

表 1 筋トレゲームの結果 1

Table 1 Results of Muscle training game 1.

	内転筋は鍛えられたか		壁を避けた際や当たった際の判定	
	Oculus Quest2	Kinect v2	Oculus Quest2	Kinect v2
平均	2.1175	2.024375	1.99125	1.840625
分散	2.14476875	3.906937109	2.761448438	2.450993359
標準偏差	1.464502902	1.976597356	1.661760644	1.565564869

表 2 筋トレゲームの結果 2

Table 2 Results of Muscle training game 2.

	自分の位置の認識のしやすさ		継続して使いたいと思うか	
	Oculus Quest2	Kinect v2	Oculus Quest2	Kinect v2
平均	3.18625	2.12	1.7925	1.843125
分散	5.106873438	3.643075	2.71273125	2.708233984
標準偏差	2.25983925	1.908684102	1.647037113	1.645671287

表 3 ウォーキングゲームの結果 1

Table 3 Results of Walking game 1.

	足の角度を意識して歩けたか		ガニ股指摘のタイミングについて	
	Oculus Quest2	Kinect v2	Oculus Quest2	Kinect v2
平均	1.175	1.24375	1.16375	3.145
分散	1.1800625	0.919110938	1.422148438	4.9359625
標準偏差	1.086306817	0.958702737	1.192538652	2.221702613

表 4 ウォーキングゲームの結果 2

Table 4 Results of Walking game 2.

	ガニ股判定について		継続して使いたいと思うか	
	Oculus Quest2	Kinect v2	Oculus Quest2	Kinect v2
平均	2.32625	2.735625	1.646875	2.369375
分散	2.290823438	5.728999609	1.570208984	4.261568359
標準偏差	1.513546642	2.393532872	1.2530798	2.064356645

以下自由記述についてそれぞれまとめる。Oculus Quest2 版の筋トレゲームの感想には、「壁が接近してくることでより避けようと体を動かす事ができた」など、VR による没入感から楽しいと感じる実験協力者も多かった。Kinect v2 版の筋トレゲームの感想では、「ゴーグルを被らない分、気軽に始められそう」、「自分の位置もすごく分かりやすかった」などの意見があった。また、「歩容改善のために必要な筋肉を鍛えるアプローチは有効か」という質問に対しては、全ての実験協力者から有効であるという回答を得た。更に、「筋トレをゲーム感覚でできて楽しむことができるので長く続けることができそう」などの高評価を得た。

Oculus Quest2 版のウォーキングゲームの感想では、「判定が一步毎に行われるので、ガニ股になっている状態が自分でわかりやすかった」など、判定のタイミングや頻度において高い評価をもらった。Kinect v2 版のウォーキングゲームの感想には、「視界がひらけているので歩き方を意識しやすかった」などプレイのしやすさについて高評価が多い一方、「たまにガニ股じゃないのにガニ股判定になっていたのが気になった」など、判定の精度の低さも指摘された。また、「歩容改善のために、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチは有効か」という質問に対しては、全ての実

験協力者から有効であるという回答を得た。更に、「普段意識してないので指摘されると今後気にしながら歩くことができそう」などの高評価も得ることができた。

最後に「この 2 つのアプローチを組み合わせることが、歩容改善に有効か」という質問に対して、「筋トレで根本を鍛えて直した後にガニ股が改善されているかウォーキングゲームでチェックできるという流れができてい」などの理由から、全ての実験協力者が有効であると回答した。

### 4.3 分析

#### 4.3.1 分析方法

Oculus Quest2 版の筋トレゲーム 4 項目と Kinect v2 版の筋トレゲーム 4 項目、Oculus Quest2 版のウォーキングゲーム 4 項目と Kinect v2 版のウォーキングゲーム 4 項目に対するアンケートの回答の平均値と標準偏差を調べた。t 検定を用い、Oculus Quest2 版と Kinect v2 版の各項目を比較した。

#### 4.3.2 分析結果

Oculus Quest2 版の筋トレゲーム 4 項目と Kinect v2 版の筋トレゲーム 4 項目の Visual Analogue Scale のアンケートと、Oculus Quest2 版のウォーキングゲーム 4 項目と Kinect v2 版のウォーキングゲーム 4 項目の Visual Analogue Scale のアンケートに対し、それぞれ分析を行う。分析の結果を、図 12、図 13、図 14、図 15、図 16、図 17、図 18、図 19 に示す。

図 12 は、筋トレゲームに関する質問「内転筋は鍛えられたか」に対して、0 を「この上なくそう思う」、10 を「全くそう思わない」としたときの Oculus Quest2 版、Kinect v2 版それぞれの平均値と標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 2.12、Kinect v2 版の平均値は 2.02 であり、0 に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「内転筋は鍛えられた」と考えていることがわかった。対応あり t 検定を用いて二者を比較すると  $p=0.846$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5% の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。これは、内転筋を鍛えるという観点においては両システムとも大きな差のない体験ができるためだと考えられる。

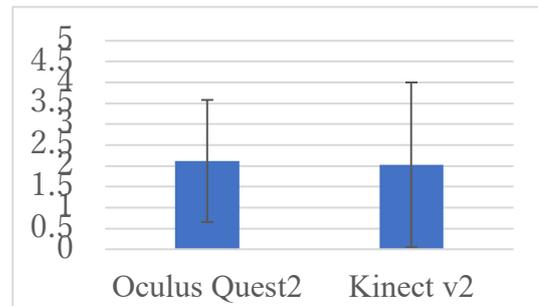


図 12 「内転筋は鍛えられたか」の平均値と±標準偏差 (t 検定:  $p=0.846$ )

Figure 12 Average value and ±standard deviation of “Was it

possible to train the adductor muscles?” ( $t$ -test:  $p=0.846$ )

図 13 は、筋トレゲームに関する質問「壁を避けた際や当たった際の判定の正確さ」に対して、0 を「この上なく正確」、10 を「全く正確でない」としたときの Oculus Quest2 版、Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 1.99、Kinect v2 版の平均値は 1.84 であり、0 に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「壁を避けた際や当たった際の判定は正確であった」と考えていることがわかった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.722$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5% の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。実験を行う前に、Oculus Quest2 版においては両足に装着したコントローラがプレイヤーの身体で隠れてしまうことがあるため正しい判定ではなくなる場合があると予想していた。しかし、実験協力者に動きやすい服装で実験に参加してもらったことで正確な判定が可能となり、結果として Oculus Quest2 版と Kinect v2 版で大きな差が生まれなかったと考えられる。

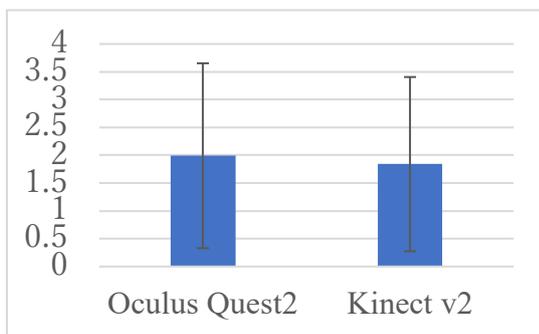


図 13 「壁を避けた際や当たった際の判定の正確さ」の平均値と±標準偏差 ( $t$  検定 :  $p=0.722$ )

Figure 13 Average value and ±standard deviation of “Was the judgement accurate when avoiding or hitting a wall?” ( $t$ -test:  $p=0.722$ )

図 14 は、筋トレゲームに関する質問「ゲームをプレイしている際、自分の位置は認識しやすかったか」に対して、0 を「この上なく認識しやすかった」、10 を「この上なく認識しにくかった」としたときの Oculus Quest2 版、Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 3.19、Kinect v2 版の平均値は 2.12 であり、0 に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「自分の位置は認識しやすかった」と考えていることがわかった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.099$  となり、 $p<0.1$  であるため、有意傾向が見られた。これは、Oculus Quest2 版では迫ってくる壁を鏡にし、プレイヤーの頭の位置と足の位置の影を映すことで自分の位置を確認する目安にしているのに対し、Kinect v2 版では 3D モデルにプレイヤーの骨格を投影して

おり、プレイヤーは自分の姿を客観視することができるためだと考えられる。

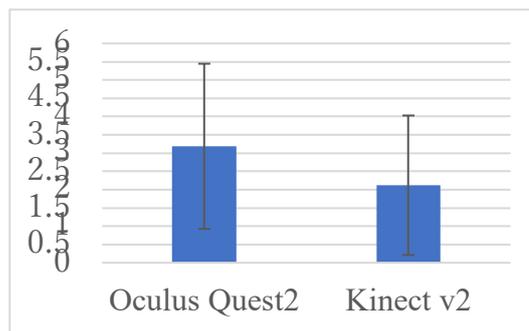


図 14 「ゲームをプレイしている際、自分の位置は認識しやすかったか」の平均値と±標準偏差 ( $t$  検定 :  $p=0.099$ )

Figure 14 Average value and ±standard deviation of “Was it easy to recognize your position when playing the game?” ( $t$ -test:  $p=0.099$ )

図 15 は、筋トレゲームに関する質問「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」に対して、0 を「この上なくそう思う」、10 を「全くそう思わない」としたときの Oculus Quest2 版、Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 1.79、Kinect v2 版の平均値は 1.84 であり、0 に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「本ゲームを継続して使いたい」と考えていることがわかった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.885$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5% の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。これは、Oculus Quest2 版においては VR ならではの没入感や臨場感などから楽しさを体感できたことが評価され、一方で Kinect v2 版においては、自分の姿を客観視でき、また視界が開けていることで大きな動作をする時も不安なく動くことができるというプレイのしやすさが評価されたと考えられる。各デバイスの特徴がそれぞれ高く評価されたため、このような結果になったと考察する。

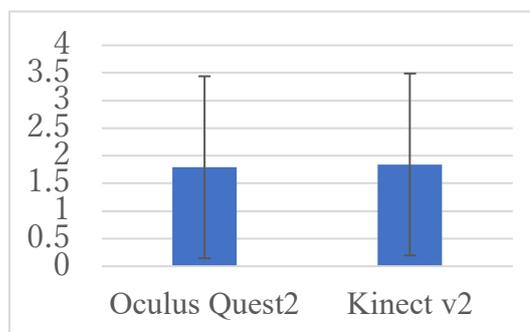


図 15 「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」の平均値と±標準偏差 ( $t$  検定 :  $p=0.885$ )

Figure 15 Average value and ±standard deviation of

“Would you like to continue using this game, assuming you have bandy legs?” (*t*-test:  $p=0.885$ )

図 16 は、ウォーキングゲームに関する質問「普段より足の角度を意識して歩くことができたか」に対して、0を「この上なくそう思う」、10を「全くそう思わない」としたときの Oculus Quest2 版, Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 1.18, Kinect v2 版の平均値は 1.24 であり、0に近い値であるため実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「足の角度を意識して歩くことができた」と考えていることがわかった。対応あり *t* 検定を用いて二者を比較すると  $p=0.818$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5%の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。これは、リアルタイムでプレイヤーの足の角度を表示するという機能に関しては、両システムとも大きな差のない体験ができるためだと考えられる。

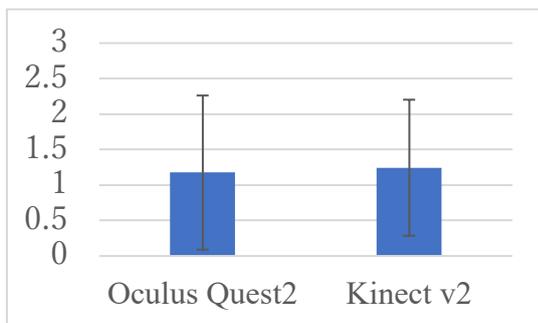


図 16 「普段より足の角度を意識して歩くことができたか」の平均値と±標準偏差 (*t* 検定 :  $p=0.818$ )

Figure 16 Average value and ±standard deviation of “Were you able to walk with more awareness of the angle of your feet than usual?” (*t*-test:  $p=0.818$ )

図 17 は、ウォーキングゲームに関する質問「ガニ股指摘のタイミングの適切さ」に対して、0を「この上なく適切」、10を「全く適切でない」としたときの Oculus Quest2 版, Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 1.16, Kinect v2 版の平均値は 3.15 であり、0に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「ガニ股指摘のタイミングは適切である」と考えていることがわかった。対応あり *t* 検定を用いて二者を比較すると  $p=0.009$  となり、 $p<0.05$  であるため、両側 5%の有意水準を適用し有意差が示された。これは、Oculus Quest2 版においてはガニ股であると判定すると逐一指摘するのに対し、Kinect v2 版は 10 秒に 1 回しか指摘されないためだと考えられる。

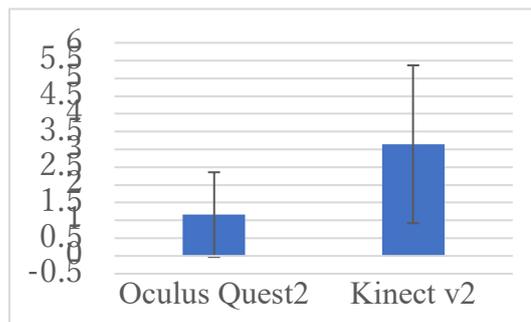


図 17 「ガニ股指摘のタイミングの適切さ」の平均値と±標準偏差 (*t* 検定 :  $p=0.009$ )

Figure 17 Average value and ±standard deviation of “Was the timing of pointing out the bandy legs appropriate?” (*t*-test:  $p=0.009$ )

図 18 は、ウォーキングゲームに関する質問「ガニ股判定の正確さ」に対して、0を「この上なく正確」、10を「全く正確でない」としたときの Oculus Quest2 版, Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 2.33, Kinect v2 版の平均値は 2.74 であり、0に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「ガニ股判定は正確である」と考えていることがわかった。対応あり *t* 検定を用いて二者を比較すると  $p=0.490$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5%の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。これは、0.04 秒ごとにガニ股か正常な歩き方かを判断しラベル付けしていき、10 秒ごとにラベルの多さによって歩容が判定される仕組みにしたことで、Kinect v2 の判定の不安定さを軽減できたからだと予想できる。また、Kinect v2 版の方がデータのばらつきが大きいことがわかる。これは、Kinect v2 版は正確に判定できていた実験協力者もいれば、服装によって、誤ってガニ股と判定され続けてしまう実験協力者もいて、個人差があったからだと考察する。

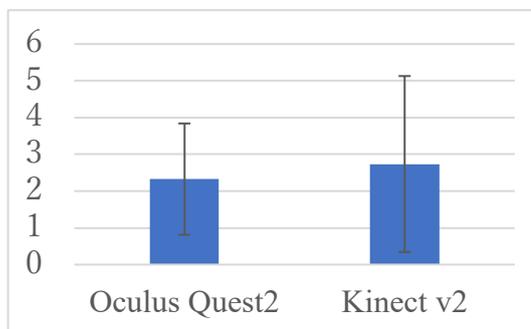


図 18 「ガニ股判定の正確さ」の平均値と±標準偏差 (*t* 検定 :  $p=0.490$ )

Figure 18 Average value and ±standard deviation of “Was the judgment of whether you walked bandy-legged accurate?” (*t*-test:  $p=0.490$ )

図 19 は、ウォーキングゲームに関する質問「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」に対して、0 を「この上なくそう思う」、10 を「全くそう思わない」としたときの Oculus Quest2 版、Kinect v2 版それぞれの平均値と±標準偏差のグラフである。Oculus Quest2 版の平均値は 1.65、Kinect v2 版の平均値は 2.37 であり、0 に近い値であることから実験協力者はどちらのデバイスでもおおむね「本ゲームを継続して使いたい」と考えていることがわかった。対応あり  $t$  検定を用いて二者を比較すると  $p=0.116$  となり、 $p>0.05$  であるため、両側 5%の有意水準を適用すると有意差は認められなかった。これは、Oculus Quest2 版においては VR ならではの没入感、またガニ股判定の正確さが評価され、一方で Kinect v2 版においては、自分の姿を客観視でき、また視界が開けているというプレイのしやすさが評価されたと考えられる。筋トレゲームと同様に、各デバイスの特徴がそれぞれ高く評価されたため、このような結果になったと予想する。また、Oculus Quest2 版に比べ、Kinect v2 版の方がデータのばらつきが大きいことがわかる。これは「ガニ股判定の正確さ」において、服装などによる個人差があったからだと考えられる。

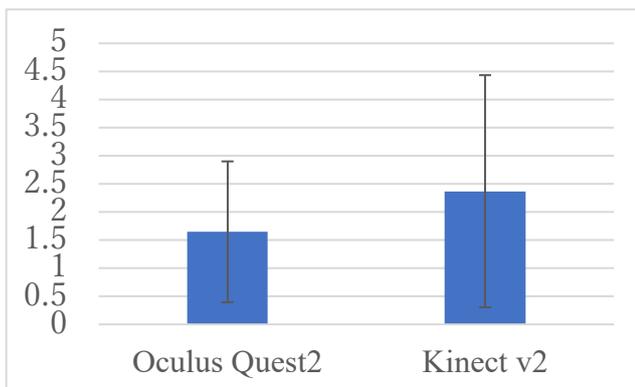


図 19 「自分がガニ股であると仮定した場合、本ゲームを継続して使いたいと思ったか」の平均値と±標準偏差 ( $t$  検定:  $p=0.116$ )

Figure 19 Average value and ± standard deviation of “Would you like to continue using this game, assuming you have bandy legs?” ( $t$ -test:  $p=0.116$ )

## 5. 考察

評価実験の結果、筋トレゲームにおける自分の位置の認識のしやすさと、ウォーキングゲームにおけるガニ股指摘のタイミングの適切さを除いて、デバイスによる体験の違いはあまり見られないことが分かった。また全ての実験協力者から、これらのゲームを組み合わせることは歩容改善に有効であるとの意見を得ることができた。

筋トレゲームにおいてどちらのデバイスが適切であるか、4.1.1 項で示した仮説では、Oculus Quest2 版では自分の位置が認識しにくいことや、足につけたコントローラがプレイヤー自身の身体で隠れ、壁に当たった際の判定が正確でなくなる場合があるということから、総合的に Kinect v2 版の方が優位になるとしていた。実験を行ったところ、「自分の位置の認識のしやすさ」においては、有意傾向が見られ、Kinect v2 版がやや優位であるという結果となり、仮説に沿った傾向が見られた。しかし、デバイスによる体験の違いを検証したところ、Oculus Quest2 版と Kinect v2 版の総合的な評価はあまり変わらないという結果になり、仮説は支持されなかった。実験協力者の感想から、予想以上に Oculus Quest2 版の没入感、臨場感による楽しさが好評だったことが要因だといえる。一方、ヘッドマウントディスプレイを被ると周りが見えず、周囲の物に当たってしまうのではないかと不安を感じ、筋力トレーニングにあまり集中できなかったという意見もあった。よって、楽しさを重視するのであれば Oculus Quest2、より筋力トレーニングに集中したいのであれば Kinect v2 でプレイすることを推奨する。

次にウォーキングゲームについては、ガニ股判定のタイミングが各デバイスで大きく異なることが特徴であった。4.1.1 項で示した仮説では、ガニ股であることを逐一指摘される Oculus Quest2 版の方が、10 秒に 1 回指摘される Kinect v2 版よりもすぐに歩容を直すことができることから、Oculus Quest2 版の方が優位になるとしていた。実験を行ったところ、その通りの結果となり、仮説は支持された。「ガニ股判定の正確さ」においては、有意な差は出ず、仮説は支持されなかった。しかし、Kinect v2 版は服装によって正確な判定が出なかった実験協力者もあり個人差があった。そのため、Oculus Quest2 でのプレイを推奨する。

## 6. 今後の課題と展望

まず、本研究では、著者らの調査の範囲では角度による判断基準は見つからなかったため、著者らの経験から明らかにガニ股と感じられる角度として閾値を定めた。今後の展望としては、専門家に話を聞くなど更に調査を行うことで、より厳密な角度でガニ股を判定できると考える。

また、ガニマタバイバイのゲーム面において発展の可能性がある。まず、筋トレゲームについては、実験協力者の感想において「もっと壁が速く迫ってくるなど、難しいモードをやってみたい」という意見が見受けられた。そのため、複数の難易度を制作し、タイトル画面で難易度を選択できるようにしたい。また実験協力者の感想において、「ゲームなので、気付いたら改善されているというように楽しく鍛えられた」との意見があった。そのため、更にゲーム性の向上を目指し、VR リズムゲーム「OhShape」[19]のように音楽に合わせて壁が流れてくるリズムゲーム要素の追

加も検討したい。好きな音楽に合わせて筋力トレーニングができれば、より楽しみながらガニ股改善ができると考えられる。

ウォーキングゲームについては、実験協力者の感想において「もう少しゲーム性が欲しい」という意見があった。そこで、歩く速度を調整できる機能を追加し、タイトル画面で歩く速度を選択できるようにしたい。また、終わった後のフィードバック機能も追加したい。現状、本ゲームでは歩いている最中に指摘はされるが、全体的な歩行がどうであったか振り返る術はなく、モチベーションを保つのが難しい。そこで、LIVEDAMの精密採点DX-G[20]のように終了後に点数と共にタイムラインを表示して歩容の美しさを折れ線グラフで表し、プレイヤーに合ったアドバイスや正常な歩行が持続した時間などを表示する機能を検討している。自分の歩容が可視化されると、歩容改善へのモチベーションも維持しやすくなると考える。

また、筋トレゲームとウォーキングゲームの両方においては、プレイヤーのスコア履歴を見られるようにすることで、自分がどれほど改善できたか分かるようにしたり、他のプレイヤーと点数を競えるようにしたい。この機能を追加することで、プレイヤーの向上心をより高める事が期待される。

本研究では、VRヘッドセット「Oculus Quest2」とモーションキャプチャシステム「Kinect v2」の2つのデバイスのみに着目したが、更に他のデバイスの使用も検討している。例えば、伸縮性エレクトロニクスを用いた歪みセンサーによって着用者の動きを正確に読み取れるXenomaの「e-skin MEVA」[21]を使用すれば、全身の動きがより細かに認識できる。これを利用して本アプローチを適用すれば、足の角度だけでなく膝や股関節の向きまで認識することが必要な、O脚やX脚などの歩容改善も期待できる。このように、今後は本研究のアプローチをガニ股以外の歩容改善に対して適応することも視野に入れていきたい。

## 7. まとめ

本研究では、歩容改善に効果的な筋肉を鍛えるアプローチである筋トレゲームと、歩いている最中に歩容を指摘するアプローチであるウォーキングゲームにより構成される歩容改善ゲーム「ガニマタバイバイ」の提案と実装を行った。また、VRヘッドセット「Oculus Quest2」とモーションキャプチャシステム「Kinect v2」どちらのデバイスが歩容改善に適切か比較するため、計4つのゲームを作成し、評価実験を行った。同時に、本ゲームの有用性も検証した。評価実験では16名にガニマタバイバイを体験してもらい、その後アンケート調査を行った。アンケートの結果、ガニマタバイバイ Oculus Quest2版、ガニマタバイバイ Kinect v2版共に、各項目において高評価を得られた。また、筋トレゲームにおける自分の位置の認識のしやすさと、ウォーキ

ングゲームにおけるガニ股指摘のタイミングの適切さを除いて、デバイスによる体験の違いはあまり見られないことが分かった。そして全ての実験協力者から、これらのゲームを組み合わせることは歩容改善に有効であるとの意見を得ることができた。今後、ガニマタバイバイのゲーム性を高め、より楽しくガニ股改善できるゲームを目指すと共に、ガニ股以外の歩容改善も視野に入れていきたい。

**謝辞** 本研究の実験を実施するにあたり実験協力者を快く引き受けてくださった津田塾大学の皆様に対しまして心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 菅原健介, 小山真, 中山翼, 上家倫子: 歩容特性が対人的印象に与える影響～光点歩行者における対人魅力、心身状態、擬態表現～, 聖心女子大学論叢=Seishin studies, p. 28-52 (2019)
- [2] Nandanwar, R., Uttamchandani, S., Deshmukh, M. and Chitale, N., *Physiotherapy rehabilitation in patient with bow leg deformity, International open access journal*, ISSN NO. 2320-7418(2021)
- [3] “O脚/X脚インソール リフリーラ” . [https://refreer.jp/lp/insole/gs/?gclid=Ci0KCOiAk4a0BhCTARIsAFWFP9FlyMb\\_af3PdhG9Yz9e2n5GemWyOKhZVgQ5pcbygOtTb17podIp9PgaAjYZEALw\\_wcB](https://refreer.jp/lp/insole/gs/?gclid=Ci0KCOiAk4a0BhCTARIsAFWFP9FlyMb_af3PdhG9Yz9e2n5GemWyOKhZVgQ5pcbygOtTb17podIp9PgaAjYZEALw_wcB), (参照 2021-12-22).
- [4] “ソルボ ウェッジヒールサポーター” . <https://www.sorbo-japan.com/products/detail.php?id=74>, (参照 2021-12-22)
- [5] “STYLEX QR+” . [https://aison.jp/product\\_st.html](https://aison.jp/product_st.html), (参照 2021-12-22)
- [6] 細井悠貴, 松下宗一郎: 日常生活における特徴的歩行分析に関する研究, 第73回情報処理学会全国大会, 4W-7 (2011)
- [7] 細井悠貴, 松下宗一郎: ウェアラブル歩行特徴分析センサに関する研究, 第10回情報科学技術フォーラム, J-048(2011)
- [8] 堀宏有, 廣部祐樹, 織茂智之, 沢田裕之, 稲葉彰, 三宅美博: ウェアラブルセンサを用いた足首軌道推定と歩行分析システム, 第28回自律分散システム・シンポジウム, pp. 203-208 (2016)
- [9] 新川怜奈, 羽山徹彩: 深層学習を用いた単一加速度データからの歩行姿勢分類, 第82回情報処理学会全国大会, 6ZB-06 (2020)
- [10] 檜原裕大, 清水裕基, 三好健文, 吉永努, 入江英嗣: スマートフォンを用いた歩行動作改善ツールの開発, 情報処理学会研究報告 (2011)
- [11] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011), *From game design elements to gamefulness: defining "gamification"*, *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek(2011)*
- [12] “Unity Technologies : Unity” . <https://unity.com/ja>, (参照 2022-1-6)
- [13] “Meta : Oculus Quest2” . [https://www.oculus.com/?locale=ja\\_JP](https://www.oculus.com/?locale=ja_JP), (参照 2022-1-6)
- [14] “Autodesk : Fusion 360” . <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview>, (参照 2022-12-31)
- [15] “株式会社サンステラ : UP mini 3D プリンター” . <https://www.pp3dp.jp/3d002.html>, (参照 2022-12-31)
- [16] “Microsoft : Kinect for Windows” . <https://developer.microsoft.com/ja-jp/windows/kinect/>, (参照 2022-1-6)

- [17] “ガニマタバイバイ” .  
<https://www.youtube.com/watch?v=NqYoTldRT1o>, (参照  
2022-12-31)
- [18] 渡邊志, 塚本博之, 松本有二, 中川雅文, 富田雅史, 森幸男 :  
1/f ゆらぎを持つ楽曲および環境音聴取時の脈波解析と  
Visual Analog Scale による主観評価(2013)
- [19] “Odders Labs : OhShape” . <https://ohshapevr.com/>, (参照  
2022-12-26)
- [20] “LIVEDAM : 精密採点 DX-G” .  
[https://www.clubdam.com/app/damStation/page.do?type=damstation&source=seimitsusaiten\\_dx\\_g&subType=dscontents](https://www.clubdam.com/app/damStation/page.do?type=damstation&source=seimitsusaiten_dx_g&subType=dscontents), (参照  
2022-12-25)
- [21] “Xenoma : e-skin MEVA” . <https://xenoma.com/>, (参照  
2022-12-25)