



# XR 環境における歩行と姿勢のセルフトレーニングのための 運動介入プログラム開発

## Development of Exercise Intervention Program for Gait and Posture Improvement in Extended-Reality Environment

寺島広樹<sup>1)</sup>, 神田洸士<sup>1)</sup>, 水野拓宏<sup>2)</sup>, 藤田憲一郎<sup>3)</sup>, 石川翔吾<sup>1)</sup>, 桐山伸也<sup>1)</sup>

Hiroki TERASHIMA, Koji KANDA, Takuhiro MIZUNO, Kenichiro FUJITA, Shogo ISHIKAWA, and Shinya KIRIYAMA

1) 静岡大学大学院 総合科学技術研究科 (〒432-8011 静岡県浜松市中央区城北 3-5-1)

2) 株式会社アルファコード (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19 UD 神谷町ビル 12F)

3) けんごろう鍼灸整骨院 (〒247-0051 神奈川県鎌倉市岩瀬 1-1-30 鎌倉ミレハウス 101, kamakurakengorou@gmail.com)

**概要:** 本研究では健康増進を目的に個人に合わせて調整され、歩行と姿勢のセルフトレーニングが可能な XR 環境における運動介入プログラムを開発した。プログラムを 17 名の被験者に実践させ、トレーニング前後の歩行映像を専門家に評価してもらったところ、全被験者の歩行改善が確認できた。また、専門家の評価の変化から XR コンテンツ体験時の情報提示制御に有益な示唆をもたらし、専門家のコメントから X 脚のほうが O 脚よりも専門家の評価が高いといった身体的特徴によってコンテンツの改善効果に差が見られるなど新しい知見を得た。

**キーワード:** XR, AR, セルフトレーニング, 歩行

## 1. はじめに

一日あたり 8,000 歩から 10,000 歩の歩行運動は生活習慣病の予防、つまり健康増進に効果的であるとされている [1]。近年、VR 関連技術の進歩が目覚ましく、VR や XR 技術を用いた歩行運動の改善に関する研究は様々なものがあるが、そのどれもが脳卒中患者に対するリハビリテーションが目的であるものが多く、健康を増進するための歩行トレーニングをする事例が少ない [2,4,5,6]。また、リハビリテーションなどにおいて歩行トレーニングをする事例でもその場から動かさないようなトレッドミルを用いたり、モーションキャプチャを装着した状態で歩行のセンシングを行うことが多い [2,4,5,6,8]。専門家が介入する従来の歩行トレーニングでは専門的な機器を前提にした歩行状態の記録、評価を行うためのコストが高いことが課題である。これらの観点から汎用的な機器を用いた健康増進のための歩行改善運動プログラムが必要であると考えられる。

著者らはできるだけ永く健康に過ごすためには幼少期からの正しい姿勢に基づく歩行が重要であるという方針の下、歩行と姿勢の専門家である柔道整復師と共同し、歩行と姿勢の改善に関する研究を行ってきた [3]。現時点

では、歩行姿勢改善のための重要な評価指標はわかっており [3]、それらの評価指標を基軸に汎用的な機器を用いた歩行のセンシングと歩行の改善運動プログラムの開発を行い、世代や病気の有無にかかわらず健康のための歩行姿勢の改善をすることが本稿の目的である。さらに、運動プログラムの開発と実践を XR 環境内で行うことによって、その没入感から普段通りの歩行にさらに情報を付加し、より効果的に歩行トレーニングが行える仕組みの実現を目指す。

## 2. コンテンツ設計

### 2.1 評価項目について

本研究で改善する評価項目について述べる。先行研究より、専門家が重要視する歩行の観点が分かっており、その中で専門家との協議のうえ、開発する XR 空間内の運動プログラムにおいて改善する歩行の要素を「1 軸 2 軸」、「腕振りの高さ」、「腕振りの幅」、「全体」とした。全体は [3] の重要な視点にはないが、上半身と下半身のバランスが重要であるという専門家の意見から評価項目に追加した。「1 軸 2 軸」は足運びの評価項目であり、モデル歩きのように足跡が 1 本の線上になるような歩き方を 1 軸

歩きと呼び、足跡が2本の線上になるような歩き方を2軸歩きと呼ぶ。専門家は2軸歩きであるほうが適切に股関節が回転し、歩行の基盤となる最も重要な要素であると言及している。「腕振りの高さ」は歩行中の拳の最高点に関する評価指標である。適切な高さで腕をふることによってより楽に歩行が出来るようになる。「腕振りの幅」は歩行を正面から見たときの腕振りの軌跡の幅に関する評価指標である。進行方向と平行に腕をふることで腕による歩行の推進力を効率よく前に押し出すことが出来る。「全体」は他の3つの評価項目がバランス良くできているか、体幹が使えているかなど、歩行姿勢全体を評価する。

開発する運動プログラムでは、これら4つの評価項目の評価を向上させることを目指す。

## 2.2 歩行の記録について

本研究では特別な機器を必要とせず、歩行の記録、改善ができるようなXR空間上でのコンテンツデザインを目指す。よって開発には汎用機器であるMetaQuest3を用いる。歩行中のデータの取得は共同研究先であるアルファコード[9]から提供されたアプリケーションを用いる。このアプリケーションでは両手のコントローラとHMDにおける初期位置からの相対座標が72fpsのサンプルレートで取得できる。

## 2.3 コンテンツデザインと運動介入プログラム

2.1で示した4つの評価項目それぞれを向上させるXR空間内のコンテンツをUnityを用いて開発した。

表1はそれぞれの評価項目に対してのコンテンツデザイン、被験者が実際に行う運動介入プログラムをまとめた表である。

表1の(1)は1軸2軸についてであり、ユーザの足元に青色のガイドラインを2本生成する。2本のラインの間隔をユーザがコントローラを操作し、コンテンツデザインの図にしめたように専門家が定める適切な2軸歩行の足幅に調節することで、個人個人に合わせた適切な2軸歩行のトレーニングが可能となる。専門家が定める適切な足幅とはかかとを合わせ、つま先を90°開いたときのつま先の幅である。足元に表示された2本のガイドラインに沿って足を運びながら歩行することを2軸トレーニングとする。(2.A)は腕振りの高さについてである。腕振りの高さはプロジェクト内の先行研究によってコンテンツデザインで図示した緑のラインの高さが適切な腕振りの高さであることがわかっている。この高さはそれぞれの人の歩行記

録によって計算される値となっており、個人に合わせた適切なガイドラインとなっている。(2.B)は腕振りの幅についてであり、う(2.A)で示したガイドラインを両手の幅に合わせて左右2本進行方向に表示する。表示された2本のガイドラインに沿って腕を振ることで腕振りの高さと同様にトレーニングすることができ、(2.A)(2.B)をあわせて腕振りトレーニングとする。(3)は全体評価についてであり、(1),(2.A),(2.B)のガイドラインを全て表示させることでユーザは腕振りと2軸を同時にトレーニングすることができ、これを全体トレーニングとする。

## 3. 実験

コンテンツの有用性を確かめるために静岡大学の学生に対して実験を行った。計17名の学生が実験に参加した。(N=17,age:18-23,M=21.8, 10males, 7females).

### 3.1 実験手続き

実験では実際に歩行をしてもらうため被験者に対して履き慣れた靴で実験に参加してもらった。また、コンテンツを実施する視界に慣れてもらうためにHMDを付けた状態で3分ほど自由に歩き回ってもらった。その後、以下のステップに従って実験を行った。

- Step1 トレーニング前の一回目歩行記録
- Step2 2軸トレーニング (10mを3往復)
- Step3 二回目歩行記録
- Step4 腕振りトレーニング (10mを3往復)
- Step5 三回目歩行記録
- Step6 全体トレーニング (10mを3往復)
- Step7 四回目歩行記録

それぞれの歩行記録で被験者は10m歩行し、それらの歩行を正面から動画撮影した。以降、一回目の歩行記録を「介入なし」、二回目の歩行記録を「足トレ後」、三回目の歩行記録を「手トレ後」、四回目の歩行記録を「全体トレ後」と呼ぶ。

### 3.2 専門家による評価

一人当たり4つの動画を17名分、合計68本の歩行動画をランダムに歩行の専門家に視聴してもらい、2.1の4つの評価項目を「とても良い」を4点「良い」を3点「悪い」を2点「とても悪い」を1点というスコアで評価してもらった。さらにそれぞれの歩行動画について専門家の視点から自由にコメントを貰った。

表 1: 歩行の評価項目ごとのコンテンツデザインと運動プログラム

評価項目	(1) 1軸 or 2軸	(2.A) 腕振りの高さ	(2.B) 腕振りの幅	(3) 全体
コンテンツデザイン	<p>2軸の基準となる足幅</p>	<p>横から見た図 ① * 0.25 + ② ① arm Height ② Initial Hand Position 適切な腕振りの高さ ground</p>	<p>進行方向 上から見た図 緑のガイドラインに沿って腕振りを行う</p>	<p>(1),(2.A),(2.B)を同時に進行 上から見た図</p>
運動プログラム	2軸トレーニング	腕振りトレーニング		全体トレーニング

4. 実験結果

専門家による 4 段階評価の割合を積み上げ棒グラフで表したものを図 1 とする。図 1 は評価項目ごと、歩行記録ごとに分かれている。さらに介入なしとそれぞれのトレーニング後の評価について Wilcoxon の符号順位検定を行った。また、それぞれの棒グラフについて専門家の評価スコアの平均値を計算し、計 3 回のトレーニングごとのスコアの変化量も棒グラフに含めた。表 2 は介入なしとそれぞれのトレーニング後での専門家による平均評価スコアの変化量を表した表である。また、表 3 は専門家の歩行動画に対するコメントから被験者それぞれが X 脚

であるのか O 脚であるのかをラベリングし、4 つの評価項目のうち、それぞれのトレーニングする前よりもトレーニング後において評価が下がった項目数で分類したものである。また、被験者の身体的特性である X 脚、O 脚に関わらず、プログラムに対して歩行改善の効果が悪かった 5 名について、その全ての被験者が歩行記録の介入なしと足トレ後、足トレ後から手トレ後の間では評価が向上したにも関わらず、手トレ後から全体トレ後の間、つまり全体トレーニング後の歩行記録にて 4 つの評価項目すべてが下がっていることが結果として得られた。

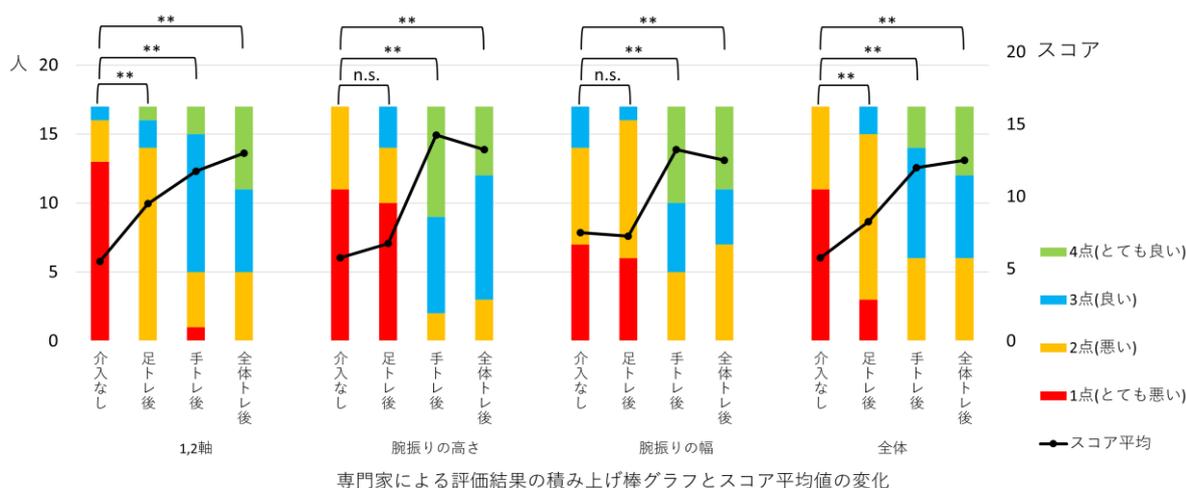


図 1：専門家による 4 段階の評価結果の積み上げ棒グラフとそれぞれの記録におけるスコア平均変化。

\*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$

表 2：介入なしと各トレーニング後での専門家による評価スコアの変化量

(a)：足トレ後における 1, 2 軸の変化量, (b)：手トレ後における腕振りの高さ と腕振りの幅の変化量, (c)：全体トレ後におけるすべての評価指標の変化量

評価項目	介入なし	足トレ後	変化量
1,2 軸	1.294	→ 2.235	+0.941

評価項目	介入なし	手トレ後	変化量
腕振り高さ	1.352	→ 3.352	+2.000
腕振りの幅	1.764	→ 3.117	+1.353

評価項目	介入なし	全体トレ後	変化量
1,2 軸	1.294	→ 3.058	+1.764
腕振り高さ	1.352	→ 3.117	+1.765
腕振りの幅	1.764	→ 2.941	+1.177
全体	1.352	→ 2.941	+1.589

表 3：トレーニングをした後において評価が下がった評価項目数ごとの X 脚, O 脚の人数

トレーニング前後で評価が下がった評価項目数	X 脚(人)	O 脚(人)	不明(人)	合計(人)
0	4	2	1	7
1	1	2	0	3
2	1	1	0	2
3	0	0	0	0
4	0	4	1	5

## 5. 考察

図 1 について、介入なしの評価と比べ、それぞれのトレーニングの主眼となる評価項目については専門家によるスコアの平均値が全て向上していた。このことから本研究で開発した XR 空間内での運動介入コンテンツが専門家による評価のスコアを向上させる一助となったと考えられる。また、表 2(a)の 1,2 軸の評価スコアの変化量は+0.941 であるのに対し、表 2(c)の全体トレ後の 1,2 軸の評価スコアの変化量が+1.764 と、大幅にスコアが向上している。これは単独で足運びのトレーニングをするよりも 3 回のトレーニングを通して歩行練習することが足運びの評価スコアを向上させることが示唆される。腕振りの高さや腕振りの幅の評価スコア変化量に関して、表 2(b)の手トレ後の変化量よりも表 2(c)の全体トレ後の変化量のほうが少ない。これは全体トレーニングにおいて、足運びと腕振りの両方に被験者の意識が分散したため、腕振りトレーニングを単独で行うよりも介入が効果的でなくなった可能性を示唆している。

表 3 について、評価が下がった項目数が 0 個、すなわち開発した運動プログラムが効果的に歩行の評価に作用したと思われる被験者は 7 名中 4 名が X 脚で、評価が下がった項目数が 4 つ、すなわち運動プログラムが効果的に作用しなかったと思われる被験者は 5 名中 4 名が O 脚だった。このことから、本研究で開発したコンテンツが特に X 脚の人に対して効果的である傾向があると考えられる。

また、全体トレーニング後の歩行記録にてすべての評価が下がった結果に関しては、手と足のガイドラインを両方意識して歩行練習することが被験者の意識を分散させ、結果的に 4 つの評価項目の評価を下げる要因の一つとなったと考えられ、先に記述した表 2(b)と表 2(c)での考察を支持していると考えられる。この結果は本研究で開発したコンテンツの一つの特徴であり、今後詳しく検証し、コンテンツ自体の改善が必要となることを示唆している。

## 6. 結論

本研究では 4 つの歩行と姿勢の評価項目における歩行改善運動プログラムを提案し、XR 空間内のコンテンツとして開発した。開発したコンテンツを用いた運動実践を行った結果、介入なしと全体トレ後を比較すると全ての被験者の歩行に対して専門家による評価スコアが向上しており、被験者に対する歩行と姿勢の改善が確認できた。また、X 脚、O 脚という被験者間の身体的特徴の違いに着目した分析から、今回提案した運動プログラムにおいて改善効果が高いのは X 脚をもつ被験者であることが示唆された。本研究で開発した運動プログラムにおいて改善が見られなかった被験者群を詳細分析したところ、全員が「全体トレーニング」前後で評価が下がっていたことか

ら、異なる部位の歩行の評価項目を XR 空間内で同時トレーニングすることは意識の混乱を引き起こし、歩行全体に悪い影響を及ぼす可能性が示唆され、今後、被験者に見せる情報の制御について考察を深め、コンテンツ自体の改善の余地があることが明らかになった。

## 参考文献

- [1] 神尾博代, 山口三国, 信太奈美, 古川順光, 来間弘展, 金子誠喜, 健康増進のための歩行についての検討, 理学療法 Supplement Vol.39 No.2,2012.
- [2] Ki Hun Cho, Min Kyu Kim, Hwang-Jae Lee, Wan Hee Lee, Virtual Reality Training with Cognitive Load Improves Walking Function in Chronic Stroke Patients, Tohoku J Exp Med.Vol.236 No.4pp.273-280,2015.
- [3] Akinori Kunishima, Koki Suzuki, Atsushi Omata, Shogo Ishikawa, Shinya Kiriya, Gait Condition Assessment Methods for Visualizing Interventional Expertise by Means of Posture Detection, Human Activity and Behavior Analysis Advances in Computer Vision and Sensors: Volume 2, Md Atiqur Rahman Ahad, Sozo Inoue, Guillaume Lopez, Tahera Hossain, Boca Raton,2024.
- [4] Sinan Zhang, Daigo Ito, Ryo Ogura, Takanori Tominaga, Yumie Ono, Acute Effect of Treadmill Walking under Optic Flow Stimulation on Gait Function in Individuals with Stroke and Healthy Controls, Advanced Biomedical Engineering Vol.11 pp.179-185, 2022.
- [5] Sinan Zhang, Daigo Ito, Ryo Ogura, Takanori Tominaga, Yuyua Nagashima, Daigo Ito, Ryo Ogura, Takanori Tominaga, Yumie Ono, Gait Training in Virtual Reality Home Environment for Stroke Patients: A Case Study, Advanced Biomedical Engineering Vol.10 pp.150-157, 2021. Yumie Ono, Acute Effect of Treadmill Walking under Optic Flow Stimulation on Gait Function in Individuals with Stroke and Healthy Controls, Advanced Biomedical Engineering Vol.11 pp.179-185, 2022.
- [6] 増田拓巳, 矢野博明, 澁谷長史, 田中直樹, 岩田洋夫, 腕振り動作を利用した反能動歩行練習システム, TVRSJ Vol.25 No.3 pp.196- 205, 2020.
- [7] Tatsuki KANAMURO, Hisaya TANAKA, Gait Guidance using Mixed Reality for Gait Improvement, ISASE2023,2023.
- [8] Y. Azuma, K. Nagamune, and R. Kuroda, An Objective Indicator Focused on the Symmetrical Movements of the Arms to Assess Gait Stability, J. Adv. Comput. Intell. Intell. Inform., Vol.23 No.4, pp. 767-774, 2019.
- [9] Alpha Code Inc. <https://en.alphacode.co.jp/>