

令和 2 年度
修士学位論文

身体位置の視覚フィードバックが 身体感覚及び運動出力に及ぼす影響

Effects of visual feedback of body position
on self-body sensation and body movements

1235051 明石 悠磨

指導教員 繁桝 博昭

2021 年 3 月 1 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要 旨

身体位置の視覚フィードバックが 身体感覚及び運動出力に及ぼす影響

明石 悠磨

身体運動はストレスの解消や生活習慣病の予防など、心身の健康増進に効果的である。しかし、近年では特に若者を中心に運動をする習慣が失われつつある。そこで、運動に対するアプローチとして、エクササイズとゲームを組み合わせたエクサゲームが注目を集めている。しかし、先行研究では、エクサゲームが心理的效果に影響を及ぼすことは示されているが、身体的効果に対する影響については明らかになっていない。他方では、VR 空間内での活動に使用するアバタの外見によって、ユーザの行動が変化するという身体的効果を得られることが明らかとなっており、その効果は現実空間での活動にも及ぶことが示されている。

したがって本研究では、運動を促進させるような異なる身体として、身体位置の視覚フィードバックを操作した身体を使用し、エクサゲームをした際の身体感覚及び運動出力、その持続特性について検討した。異なる身体の状態には 3 種類の身体位置の視覚フィードバックの条件を設けて実験を行った。身体感覚及び運動出力の評価指標として、トレーニングの直前、直後、10 分後に、対象物と身体出力の位置とのズレ及び足踏みの足の上がり幅を計測した。また、アンケートにより、トレーニングがアバタの身体化、動機づけ、気分状態に及ぼす影響について分析した。その結果、視覚フィードバックを操作した場合であっても、通常時と同様にアバタの身体化及び動機づけができることが示された。また、運動習慣がない者に対してトレーニングを行うことで足の身体感覚の位置が低く変容することが示され、運動出力にも影響を与える可能性が示された。

キーワード エクサゲーム, プロテウス効果, 視覚フィードバック, エンボディメント

Abstract

Effects of visual feedback of body position on self-body sensation and body movements

Yuma AKASHI

Physical exercise is effective in improving physical and mental health, such as relieving stress and preventing lifestyle-related diseases. However, in recent years, the habit of exercising is being lost, especially among young people. Therefore, as an approach to exercise, exergaming that combines exercise and games are getting attention. However, while previous studies have shown that exergaming affects psychological effects, the physical effects are unclear. On the other hand, physical effects of changing the user's behavior have been revealed depending on the appearance of the avatar used for activities in the VR space. In addition, the effects have been shown to extend to activities in real space.

Therefore, in this study, visual feedback of body position was manipulated to promote exercise, and examined the participants' self-body sensation, body movements and their sustainable effects when playing the exergames. The experiment was conducted with three different visual position conditions of their virtual feet. As evaluation indices of self-body sensation and body movements, the displacement of the body output position to the virtual object and the length of the foot rising in natural steps were measured, just before, just after, and 10 minutes after the training. A questionnaire was also used to analyze the effects of training on avatar embodiment, motivation, and mood states. The results showed that the manipulated avatar can be embodied and

motivated as usual body. In addition, the results showed that the position of the perceived self-body of the foot was modulated to a lower level and the the body movements were affected by participants' training who had no exercise habits.

key words Exergames, Proteus Effect, Visual Feedback, Embodiment

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	深刻化する若者の運動不足	1
1.2	運動の重要性とその効果	2
1.3	運動を用いた関連研究	3
1.4	VR (Virtual Reality)	4
1.5	身体知覚に関わる感覚	4
1.6	身体知覚の関連研究	6
1.7	プロテウス効果	6
1.8	研究の目的	8
第 2 章	実験 1 の内容	9
2.1	実験装置	9
2.1.1	使用ソフトウェア	9
2.1.2	刺激呈示デバイス	9
2.1.3	操作デバイス	9
2.1.4	トラッキング用赤外線エミッター	11
2.1.5	その他	12
2.2	実験環境	13
2.2.1	実験空間	13
2.2.2	VR 空間	14
2.3	参加者	15
2.4	実験条件	15
2.5	実験手続き	16
2.6	実験課題	18

目次

2.6.1	アンケート課題	18
2.6.2	運動量計測課題	19
2.6.3	身体位置計測課題	19
2.6.4	トレーニング課題	20
2.7	計測項目	21
2.7.1	運動出力	21
2.7.2	身体感覚	21
2.7.3	アンケート項目	22
	アバタの身体化	22
	動機づけ	23
	気分状態	23
2.8	実験1の結果	25
2.8.1	アバタの身体化の結果	25
	身体所有感	25
	自己主体感	26
	自己定位感	26
2.8.2	動機づけの結果	27
2.8.3	身体感覚の結果	28
2.8.4	運動出力の結果	29
2.8.5	気分状態の結果	30
	怒り－敵意	30
	混乱－当惑	31
	抑うつ－落込み	32
	疲労－無気力	33
	緊張－不安	34
	活気－活力	35

目次

	友好	36
	TMD 得点	37
2.9	実験 1 の考察	38
2.9.1	アバタの身体化	38
2.9.2	動機づけ	38
2.9.3	身体感覚及び運動出力	39
2.9.4	気分状態	39
第 3 章	実験 2 の内容	40
3.1	実験手続き及び参加者	40
3.2	実験 2 の結果	41
3.2.1	アバタの身体化の結果	41
	身体所有感	41
	自己主体感	42
	自己定位感	42
3.2.2	動機づけの結果	43
3.2.3	身体感覚の結果	44
3.2.4	運動出力の結果	45
3.2.5	気分状態の結果	46
	怒り－敵意	46
	混乱－当惑	47
	抑うつ－落込み	48
	疲労－無気力	49
	緊張－不安	50
	活気－活力	51
	友好	52

目次

TMD 得点	53
3.3 実験 2 の考察	54
3.3.1 アバタの身体化	54
3.3.2 動機づけ	54
3.3.3 身体感覚及び運動出力	54
3.3.4 気分状態	56
第 4 章 総合考察	57
第 5 章 まとめ	59
謝辞	60
参考文献	61

目次

1.1 運動習慣がある者の割合 (年齢別) [1]	2
1.2 運動をする者の割合 (レベル別) [3]	2
2.1 VIVE Pro (HMD)	10
2.2 VIVE コントローラ	10
2.3 VIVE Tracker	10
2.4 SteamVR ベースステーション 2.0	11
2.5 固定器具	12
2.6 実験用靴	12
2.7 実験空間	13
2.8 VR 空間 (前後 : 250 cm, 左右 : 215 cm)	14
2.9 視覚情報を遮断した VR 空間	14
2.10 足の位置の条件	15
2.11 実験装置を装着した様子 (正面)	16
2.12 実験装置を装着した様子 (背面)	16
2.13 実験の流れ	17
2.14 アンケート課題の様子	18
2.15 身体位置計測課題の様子	19
2.16 トレーニング課題の様子	20
2.17 足踏みの計測データの例 1	21
2.18 足踏みの計測データの例 2	21
2.19 実験 1 - 身体所有感の結果	25
2.20 実験 1 - 自己主体感の結果	26
2.21 実験 1 - 自己定位感の結果	26

図目次

2.22 実験 1 - 動機づけの結果	27
2.23 実験 1 - 身体感覚の結果	28
2.24 実験 1 - 運動出力の結果	29
2.25 実験 1 - 怒り－敵意の結果	30
2.26 実験 1 - 混乱－当惑の結果	31
2.27 実験 1 - 抑うつ－落込みの結果	32
2.28 実験 1 - 疲労－無気力の結果	33
2.29 実験 1 - 緊張－不安の結果	34
2.30 実験 1 - 活気－活力の結果	35
2.31 実験 1 - 友好の結果	36
2.32 実験 1 - TMD 得点の結果	37
3.1 実験 2 - 身体所有感の結果	41
3.2 実験 2 - 自己主体感の結果	42
3.3 実験 2 - 自己定位感の結果	42
3.4 実験 2 - 動機づけの結果	43
3.5 実験 2 - 身体感覚の結果	44
3.6 実験 2 - 運動出力の結果	45
3.7 実験 2 - 怒り－敵意の結果	46
3.8 実験 2 - 混乱－当惑の結果	47
3.9 実験 2 - 抑うつ－落込みの結果	48
3.10 実験 2 - 疲労－無気力の結果	49
3.11 実験 2 - 緊張－不安の結果	50
3.12 実験 2 - 活気－活力の結果	51
3.13 実験 2 - 友好の結果	52
3.14 実験 2 - TMD 得点の結果	53

表目次

2.1	アバタの身体化に関するアンケート項目	22
2.2	動機づけに関するアンケート項目 (事前)	24
2.3	動機づけに関するアンケート項目 (事後)	24

第 1 章

はじめに

1.1 深刻化する若者の運動不足

近年，SNS やゲームなどの普及に伴い，娯楽が多様化したことにより，運動しない若者が年々増加している．図 1.1 は厚生労働省が 2018 年に実施した国民健康・栄養調査報告の年齢別に運動習慣のある者^{*1}の割合を表したグラフである [1]．図 1.1 より，運動習慣のない 20 代，30 代の割合（男性：約 80%，女性：約 90%）から，多くの若者が運動不足であることがわかる．また，WHO（世界保健機構）が 2001 年から 2016 年に行った調査では，世界の 146 カ国の若者約 160 万人のうち約 81%が運動不足であることが報告されている [2]．これらの報告より，若者の運動不足は国内だけでなく世界的な社会問題であり，若者のうちの 80%以上の者が運動習慣を有していないことから，この問題は大変深刻であることがわかる．

また，図 1.2 は笹川スポーツ財団が 2019 年に発表したスポーツライフ・データのレベル別^{*2}に運動をする者の割合を表したグラフである [3]．図 1.2 から，週に 1 回以上の運動をしていない者（レベル 1 以下）の割合が，2015 年から 2019 年にかけて年々増加していることがわかる．文部科学省からは 35 年前と比較して子供の体力が低下しているという報告 [4] もあり，若者の運動不足を解消することは今後の社会にとって非常に重要な課題である．

^{*1} 1 回 30 分以上の運動を週 2 回以上実施し，1 年以上継続している者

^{*2} レベル 0:過去 1 年間まったく運動を行っていない者

レベル 1:年 1 回以上，週 1 回未満の運動・スポーツを行う者

レベル 2:週 1 回以上週 5 回未満の運動・スポーツを行う者

レベル 3:週 5 回以上の運動・スポーツを行う者

レベル 4:120 分以上の運動強度「ややきつい」以上の運動を週 5 回以上行う者

1.2 運動の重要性とその効果

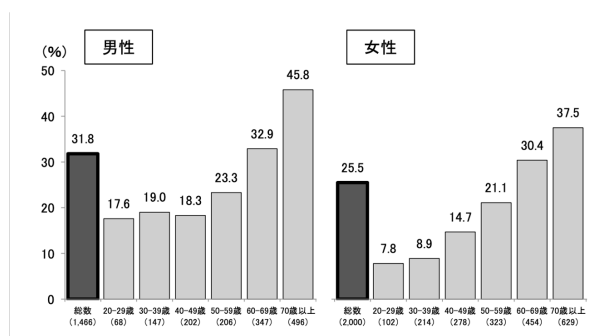


図 1.1 運動習慣がある者の割合 (年齢別) [1]

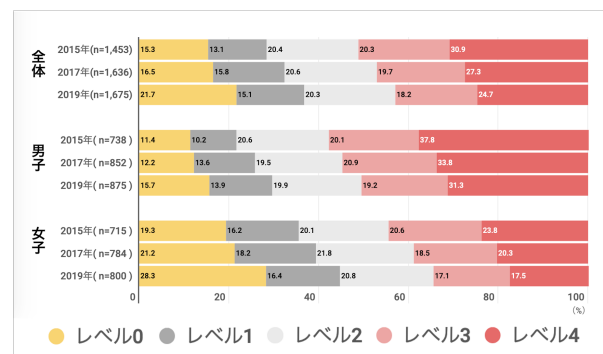


図 1.2 運動をする者の割合 (レベル別) [3]

1.2 運動の重要性とその効果

1.1 節で述べたように運動をしない若者の割合が年々増加し、若者の体力が低下しているという報告がなされている。この現状が問題視されている一番の理由として、心身の健康への影響が考えられる。2015 年には文部科学省でスポーツ庁が設置されるなど、国内の運動に対する意識改革を推進しており、“スポーツを通じて「国民が生涯にわたり心身ともに健康で文化的な生活を営む」ことができる社会の実現を目指す”を目標として掲げている。

実際に運動をすることで具体的にどのような影響があるのかを調べた研究では、持続的に運動をすることが健康の増進に効果をもたらすという報告 [5] やストレスの解消に効果があるという報告 [6] があり、運動をすることでメンタルヘルスや生活の質の改善に効果をもたらすことが認められている。また、身体活動量 (「身体活動の強さ」×「行った時間」の合計) の増加に従って生活習慣病の予防などの効果が上昇することも明らかになっている [7]。

このように運動と心身の健康には大きな関わりがあることが示されているため、運動をしない若者が増えつつある現状を見過ごすことは今後の社会に大きな影響があると考えられる。

1.3 運動を用いた関連研究

1.2 節で述べたように、運動をすることは心身ともに健康で生活するために必要不可欠なものであることが明らかとなっている。しかし、世の中には若者を運動から遠ざける原因となっているものがあり、その中でもデジタルゲームの存在が大きいように感じる。そこで、近年ではスポーツや運動と、若者が夢中になっているゲームなどの情報技術を融合したエクサゲームと呼ばれる研究が盛んに行われている。このエクサゲームは運動にゲームを用いることによって、ゲームに対して抱く魅力を運動を行う動機づけにすることができ、運動に対するモチベーションを向上させることから、若者に適した有望なアプローチであると考えられている [8]。

エクサゲームに関する研究では、全身運動を伴うゲームをすることで子供から大人まで効果的に運動をするように動機づけされているという報告 [9] や、楽しさや没頭力などの心理的効果を高めるという報告がある [10]。特に運動をする上で楽しむことは、運動を促進するための重要な変数であると考えられているため、運動に関する研究分野で注目を集めている [11]。また、エクサゲームがもたらす効果は運動に対する動機づけだけでなく、運動中に感じる楽しさが認知的利益にとって重要であるという報告がある [12]。実際に、身体運動を伴う操作方法のグループと、コントローラで操作するグループに分けてゲームを行った研究では、身体運動を伴う方が認知機能が改善し、情報処理能力、注意力、視空間認知能力にも効果があるという報告がなされている [13]。

このように、エクサゲームに関する研究の多くは、エクサゲームを行うことで動機づけや楽しさ、認知的利益などの心理的影響を及ぼすことは明らかとなっているが、運動量や運動効率などの運動出力に着目した研究は少ない。

1.4 VR (Virtual Reality)

そこで今日、注目を集めているのが VR (Virtual Reality) である。VR とは人工現実感と呼ばれ、コンピュータグラフィックスや音響効果を組み合わせることによって、人工的に現実感を作り出す技術のことを指す。この VR を構成するにあたって重要とされている要素が 3 つ存在する。それは、自然な 3 次元空間を構成しているかという「3 次元の空間性」、人間とバーチャルな環境と実時間で互いに影響しているかという「実時間の相互作用性」、自分自身がその環境に入り込んだ状況が作られているかという「自己投射性」である [14]。これらはさまざまな技術によって実現することができるが、より臨場感の高い体験ができるデバイスとしてヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下 HMD) がある。今日では HMD を用いた VR ゲームが数多く販売されており、その中には「Beat Saber」などの身体運動を伴う人気ゲームも存在する。

1.5 身体知覚に関わる感覚

VR 空間内でゲームや運動などの活動をする際には、身体の知覚への影響が大きく関わっている。また、身体を知覚するにあたって重要となる感覚が 4 つ存在する。それは、「自己受容感覚」、「身体所有感」、「自己主体感」、「自己定位感」である。

自己受容感覚 (Proprioception) とは、視覚的フィードバックに頼らず、筋や腱、関節の緊張や伸縮などの情報から身体の位置や体勢を知覚する感覚である [15]。似たような意味として深部感覚や固有感覚という呼ばれ方をする場合もある。人間はこの自己受容感覚によって、目をつぶった状態であっても身体の位置や体勢、運動といった情報をある程度正確に知覚することができる。

また、自己受容感覚に加えて触覚や視覚フィードバックなどの身体に関する感覚情報を統合して処理することで、人間は統一した自己の身体を認識していると考えられている [16]。このようにして統合された自己の身体を認識するためには、主に身体所有感と自己主体感の 2 つの感覚が関与している。

1.5 身体知覚に関わる感覚

身体所有感 (**Sense of Body Ownership**) とは、「これは自分自身の身体だ」と感じる感覚である。この身体所有感はしばしば自己所有感や身体保持感と呼ばれることもある。身体所有感は、主に自己受容感覚と視覚フィードバックの時間的・空間的整合を基盤として生じている [17]。一方で、自己主体感 (**Sense of Self-Agency**) とは、自己が能動的な運動を行っている場合にのみ感じられる感覚のことで、「運動を行っているのは自分自身だ」と感じる感覚のことをいう [16]。この自己主体感はしばしば運動主体感や行為主体感と呼ばれることがある。自己主体感の基盤となるのは、脳から筋肉に送られる運動指令による運動の予測と視覚からの刺激の随伴関係の認知である。また、自己主体感は運動出力に対する視覚フィードバックの遅延が 150ms 以上であると低下させることが示されている [18]。身体所有感と自己主体感が生じるメカニズムの主な違いとしては、自己主体感は前述の通り能動的な運動を行っている場合にのみ生じるのに対し、身体所有感は受動運動をしている場合にも生じることである。また、運動主体感を高めるためには現実的な描画を呈示する必要がないとされているが、身体所有感を高めるためには自らの身体に類似した描画が必要であるという違いもある [19]。一方で、空間内における特定の位置に対して、「自己の身体がそこに位置している」と感じる感覚のことを自己定位感 (**Sense of Self-Location**) という [20]。通常であれば、自己の位置は自己身体の中に位置しているときにのみ感じられるが、体外離脱体験を目的とした実験では、目の前にアバタの背面が見える状況で、自身の背中部と目の前に見えているアバタの背中部に対して同期した視触覚刺激を一定時間提示することにより、自己定位がアバタに移ることが示されている [21, 22]。

以上より、自己主体感は能動的な身体運動であれば、視覚フィードバックの遅延が短い場合には生じる感覚であるが、身体所有感は必ず生じるとは限らない。特に身体所有感は VR 空間において、利用者の存在感を構成する要素の 1 つである [23] とされているため、VR 空間内でゲームや運動などの活動をする際には身体所有感を生じさせることが重要となってくる。したがって、VR 空間において身体所有感と自己主体感の両方を高めるためには、自らの身体に類似した形態のアバタを用いて能動的な身体運動と視覚フィードバックを同期させた課題を一定時間以上行う必要がある。

1.6 身体知覚の関連研究

身体知覚についての研究にはしばしば VR 技術が用いられる場合がある。VR 空間では、1.4 節で紹介した VR を構成するために必要である 3 つの要素を自在に操作できるため、空間的な位置や大きさなどを自由に変化させることや、現実空間では厳密に統制することが難しいことであっても統制することができる。したがって、今日では VR 技術は商用利用としてだけでなく、研究分野としても高い注目を集めている。

身体知覚に関わる最も有名な研究として、ラバーハンド錯覚 (The Rubber hand illusion, 以下 RHI) がある。RHI とは、自分の手を見えないようにした状況で、目の前に置かれたゴムの手 (ラバーハンド) と自分の手の両方に対して、同期した視触覚刺激が与えられた際に、ゴムの手があたかも自分自身の手であるかのように感じられる錯覚現象のことである [24]。普段私たちは、自分の身体というものを意識せずに生活しているが、自分の認識している「身体」に対する認識は意外と簡単に揺らいでしまう。したがって、1.5 節で述べたような「身体所有感」や「自己主体感」、「自己定位感」が重要となってくる。特に、えくす手 (Metamorphosis Hand) の研究では、自分の手の見た目をや形、色が変化したときの身体知覚について検討している [25] ため、VR 技術が大きく貢献している。

特に臨場感の高い体験が可能な HMD を用いた研究では、身体の一部だけでなく全体を変化させることで自分自身の身体として知覚することが可能であるため、様々な研究が行われており、その代表的なものとしてプロテウス効果がある。

1.7 プロテウス効果

プロテウス効果とは、身体の見た目の変化によって態度や行動が変化するという効果である [26]。例えば、化粧をしている状態と化粧をしていない状態では、行動に関わる気分や生活の質、自信などの内面に対する価値が大きく異なるという報告 [27] や、白衣を着ると集中力が上昇するといった報告 [28] がある。このような外見が及ぼす効果は現実空間だけでなく、VR 空間でも確認されているおり、特に VR 空間では外見の操作が容易かつ多様である。

1.7 プロテウス効果

VR 空間でプロテウス効果を検討する利点として、自身の見た目がアバタになることで、そのアバタの特性を反映した態度や行動を行うようになり、現実空間では獲得することが難しいような効果を得ることができる可能性がある。例えば、高所での恐怖感に関する研究では、人間アバタよりもロボットのような頑丈なアバタの方が安心感を抱くという報告 [29] や、飛行可能なアバタ (ドラゴン) を用いることで、高所への恐怖が抑制されるといった報告 [30] がある。また、カジュアルな服装のアバタとスーツを着たアバタを比較すると、カジュアルな服装のアバタを用いた方が打楽器をよりリズミカルに叩くという報告 [31] や、細身のアバタと筋肉質のアバタでは、筋肉質のアバタの方が物体を軽く感じるという報告 [32] がなされている。このような効果はアバタの外見だけでなく、アバタの形態自体を変化させた研究も行われており、大人の身体のアバタと 4 歳の子供の身体のアバタを用いて実験を行ったところ、子供の身体の方が物体の大きさを過大評価すること [33] や、アバタの形態だけでなくそのアバタに対して抱くイメージが行動や認知課題に影響を与えるということ [34, 35] が示されている。このように、VR 技術を用いることで、現実空間では困難な自己身体についても検討することができ、意識改革や物体知覚、認知的利益といった心理的な影響だけでなく、行動といった身体的な側面にも影響を及ぼすことが明らかとなっている。

特に近年では、プロテウス効果を用いて社会課題の解決を試みる研究が盛んに行われており、白人の参加者に対して黒人のアバタを用いて実験を行ったところ、実験前と比べて黒人に対する差別意識が和らいだという報告 [36] もなされている。また、VR 空間での活動により得られた効果が現実空間に戻ってからも持続するという報告もある [37]。この研究は、魅力的な外見のアバタを使用すると自己開示をしやすく、背の高いアバタを使用すると積極的・強気な行動をするという報告 [26] の後続の研究として行われ、VR 空間での活動後に行った現実空間での活動でも効果が持続することを明らかにしている。

以上の知見を踏まえると、社会課題となりつつある若者の運動不足を解決するためには、運動を促進させるようなアバタを用いてトレーニングすることで、運動出力が増加し、その効果を現実空間での活動にも及ぼすことができる可能性がある。

1.8 研究の目的

本研究では、VR 技術を用いることで、従来のエクサゲームに関する研究では検討が難しかった全身運動を伴うトレーニングをした際の運動出力について検討する。また、厚生労働省が発表している健康日本 21 (第二次) では、日常生活における歩数の増加が重要であるとした上で、今後の課題・対策として次のように述べている。“歩かないで生活できるように生活環境が整備され続けている現代、日常生活における歩数を増加させることは困難な状況となっており、日常生活における歩数を増加させるためには個人に対するアプローチ以上に、意識せずに歩けるような環境を作るなど、生活環境に対するアプローチがより重要になってきている。[38]”しかし、現実空間において環境自体を変化させることは非常に困難であることから、本研究では、日常生活において歩数を増加させるのではなく、現状の限られた運動場面において、同じ歩数であっても運動出力を増加させるための手法として、歩行時の足の上がり幅の増加を目指す。

また、VR 空間においてプロテウス効果を検討した研究では、使用する自己アバタの見た目や形態の違いが心理的效果や身体的効果をもたらすことが明らかになっている。しかし、これらの効果は仮想鏡などによってアバタの身体を知覚できているときのみに生じ、仮装鏡を取り除いた場合にはアバタの身体から自己の実身体の知覚に注意が向くため簡単に消失してしまう [39]。したがって、本研究ではアバタの見た目や形態などの外見を変化させるのではなく、RHI のように身体感覚の位置自体を変化させ、自己定位感を生じさせることで身体的効果の持続時間の延長を図った。特に運動出力を増加させるという目的を達成するために、本研究では足の身体位置の視覚フィードバックを操作することで、身体的効果として足の上がり幅の増加を検討した。

したがって、本研究では使用するアバタの足に対して、身体位置の視覚フィードバックを操作した状態でトレーニングを行うことで、身体感覚の変化や運動出力に及ぼす影響について検討した。また、それらの効果の持続特性についても検討した。

第 2 章

実験 1 の内容

2.1 実験装置

2.1.1 使用ソフトウェア

視覚刺激の作成及び VR 環境の構築には Unity (Version 5.6.3p1 Personal) を使用した。また、実験用プログラムは C#を用いて実装した。実験結果として得られた計測データは実験プログラムによって CSV ファイルに格納され、それらのデータは MATLAB R2017a (Version 9.2) を用いて解析を行った。解析したデータの整理には Microsoft Excel (Office 365 for Mac Version 16.20) を使用し、各種検定には R 言語 (Version 3.5.1) を使用した。

2.1.2 刺激呈示デバイス

視覚刺激及び VR 空間の呈示には、 360° の視野があり、あらゆる空間方向で自然な動作が可能な HMD[40] として HTC 社の VIVE Pro を使用した (図 2.1)。

2.1.3 操作デバイス

VR 環境において、アバタの手を操作するためのデバイスとして図 2.2 に示す HMD に付属のコントローラを使用した。また、フルボディトラッキングをするために HTC VIVE の周辺機器である VIVE Tracker (3 個) を使用した (図 2.3)。

2.1 実験装置



図 2.1 VIVE Pro (HMD)



図 2.2 VIVE コントローラ



図 2.3 VIVE Tracker

2.1 実験装置

2.1.4 トラッキング用赤外線エミッター

VR 環境における，HMD とコントローラ，Tracker の位置のトラッキングに用いるデバイスとして，HMD に付属の SteamVR ベースステーション 2.0 を用いた（図 2.4）．位置トラッキングの仕組みとして，ベースステーションが赤外線を一定パターンで設置した空間内に照射する．HMD やコントローラ，Tracker は内蔵された多数のセンサを用いて赤外線を取得し，そのタイミングで位置と姿勢を推定している．

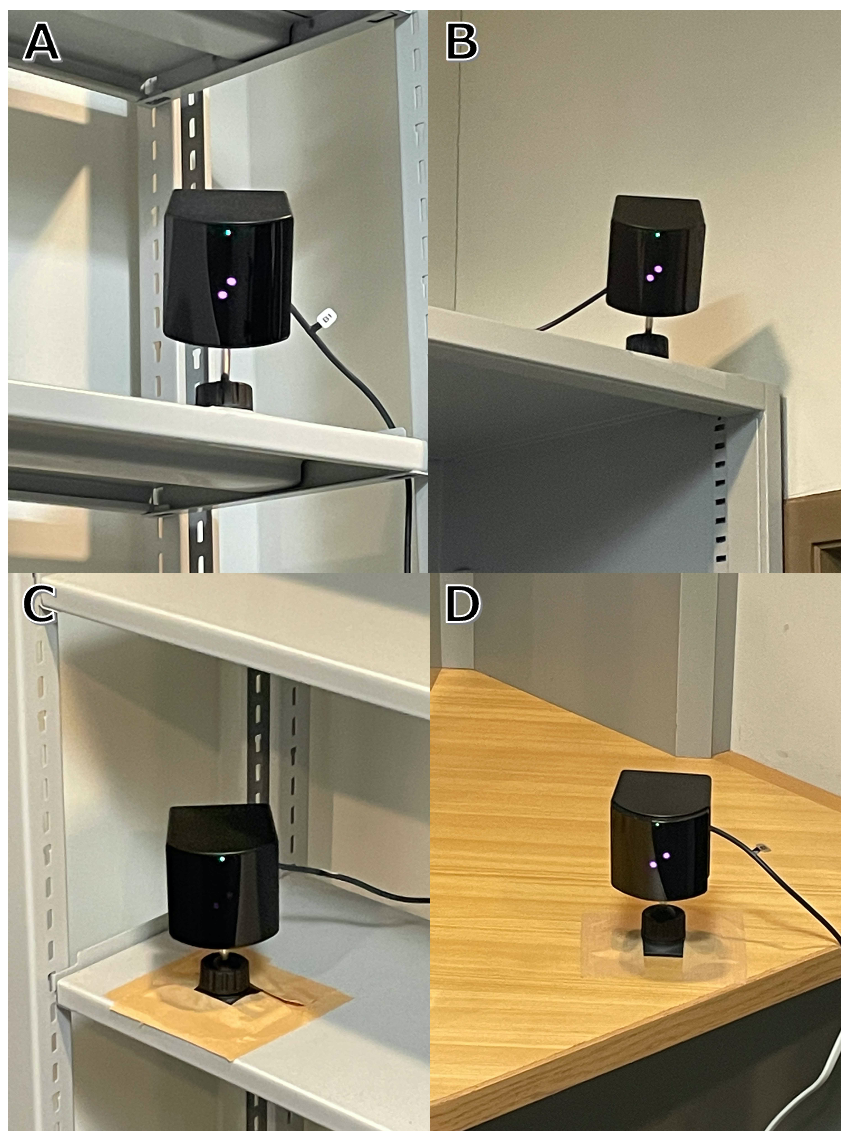


図 2.4 SteamVR ベースステーション 2.0

2.1 実験装置

2.1.5 その他

実験参加者の腰に VIVE Tracker を固定するために，図 2.5 に示す固定器具を使用した．また，足に VIVE Tracker を固定するために，図 2.6 に示す実験用靴の穴にネジを通して固定した．



図 2.5 固定器具



図 2.6 実験用靴

2.2 実験環境

2.2.1 実験空間

実験を行うにあたって、まず赤外線送受信に影響がない実空間（前後：305 cm，左右：270 cm）を確保した。2.1.4 小節で紹介したベースステーションは 200 cm より高い場所に取り付けることを推奨しているため，図 2.7 に示すように，実空間に確保した左上の座標を原点 $(0, 0)$ とした場合， $(-5, 30, 200)$ 及び $(275, 280, 220)$ の 2 箇所にベースステーションを設置した。また，フルボディトラッキングをする際の精度向上のため， $(-5, 270, 85)$ 及び $(255, -15, 80)$ の 2 箇所にもベースステーションを設置した。つまり，実験には合計 4 個のベースステーションを使用した。

VR 環境内のルームスケールを行うことで実空間と VR 空間との歪みを調整した。

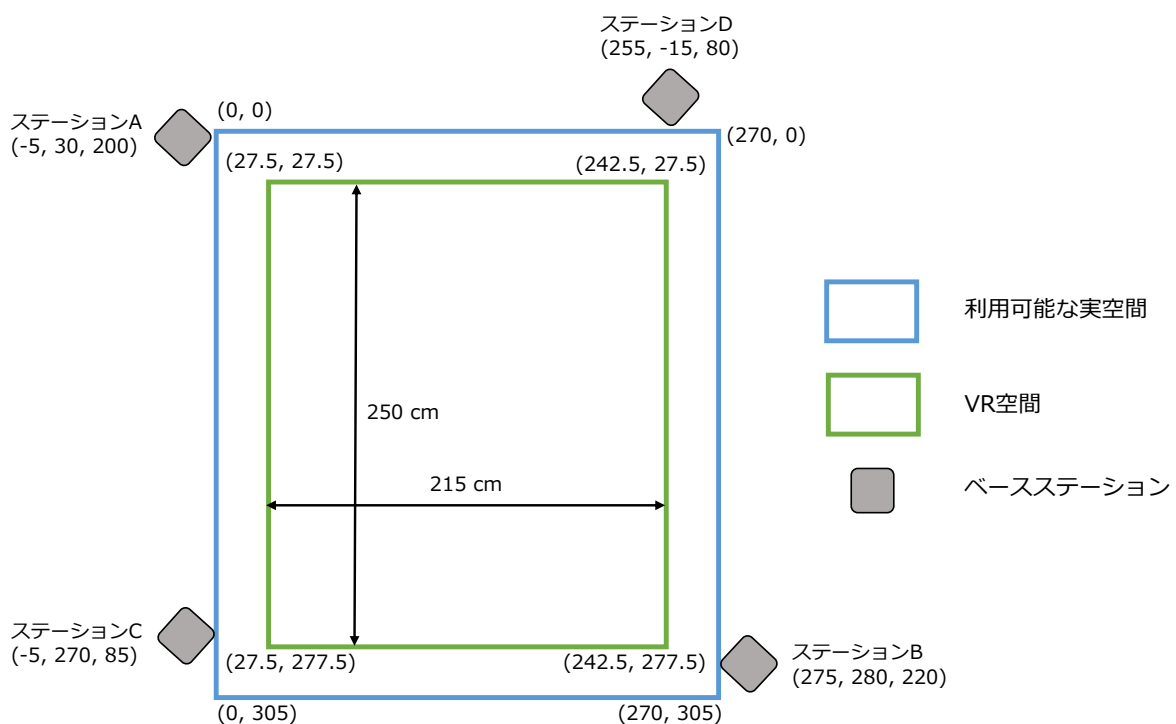


図 2.7 実験空間

2.2 実験環境

2.2.2 VR 空間

VR 空間内で課題を行う際に周囲の壁にぶつかってしまう事故を防ぐために、図 2.7 に示したように壁から 27.5 cm の余裕を持たせた VR 空間 (前後 : 250 cm, 左右 : 215 cm) を設定した。これにより、参加者は安心して安全に実験を行うことを可能とした。

図 2.8 は「トレーニング課題」を行う際に使用した VR 空間である。参加者が実験中に床の質感などに違和感を覚えないようにするため、実験室に合わせたテクスチャを設定した。また、図 2.9 の床以外の視覚情報を遮断した一様に暗い VR 空間である。この空間は後述する「アンケート課題」、「運動量計測課題」、「身体位置計測課題」で使用した。

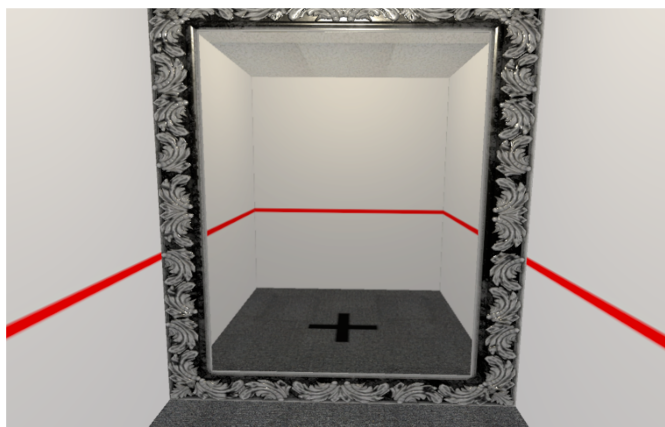


図 2.8 VR 空間 (前後 : 250 cm, 左右 : 215 cm)

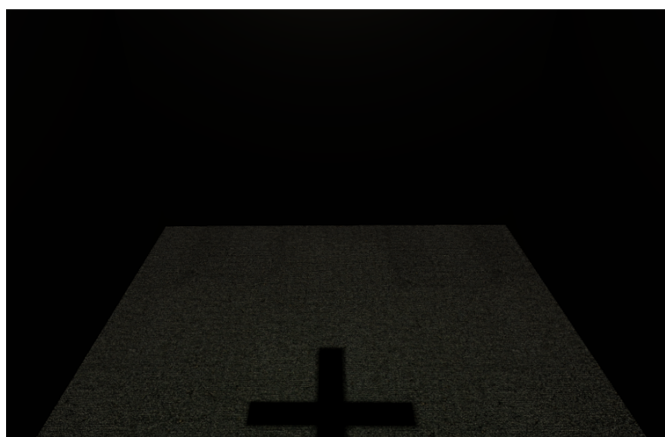


図 2.9 視覚情報を遮断した VR 空間

2.3 参加者

2.3 参加者

実験参加者は正常な視力または矯正視力を有する大学生 30 名 (男性 19 名, 女性 11 名; 年齢 19.9 ± 1.5 歳) であった。矯正視力を持つ参加者は眼鏡をかけた状態で HMD を頭部に装着し, 視覚刺激が正常に見えることを確認した上で実験を行った。ただし, 実験の手続きとして参加者には一様に暗い空間で待機してもらう必要があるため, 事前に閉所恐怖症でないことの確認を行った。また, 参加者は実験内容を十分理解した上での自由意志による参加である同意を取った。

2.4 実験条件

身体位置の条件として, 現実の足の 0.75 倍の低い位置にアバタの足が表示される Low 条件, 現実の足の 1.25 倍の高い位置にアバタの足が表示される High 条件を設けた。また, 統制条件として, 現実の足と同じ位置 (1.0 倍) にアバタの足が表示される Normal 条件を設定し, これらの 3 水準を用いて参加者間計画の実験を行った。

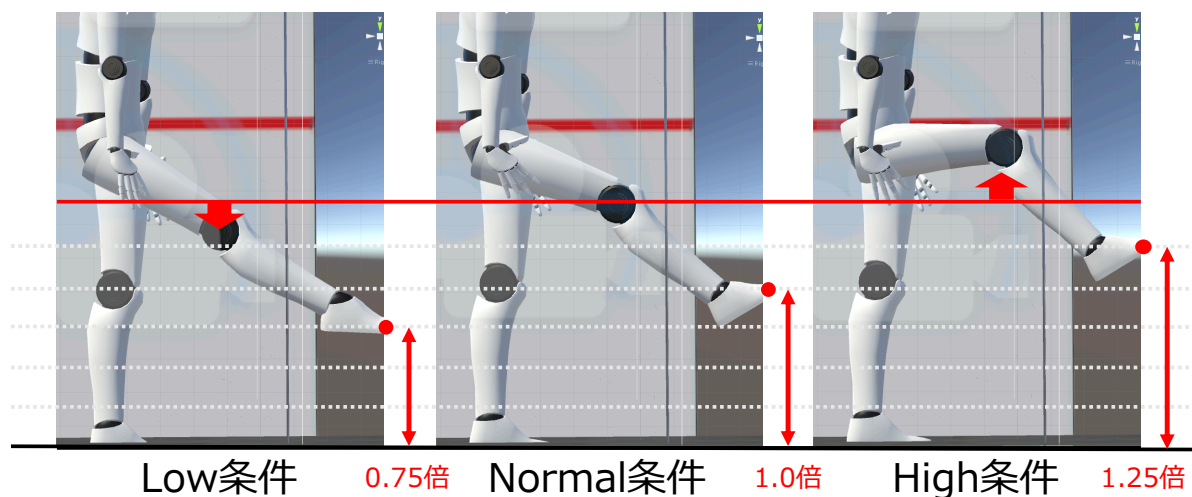


図 2.10 足の位置の条件

2.5 実験手続き

2.5 実験手続き

参加者は実験についての十分な説明を受けた後，HMD を頭部に，VIVE Tracker を図 2.11，図 2.12 のように腰と両足に装着し，両手にコントローラを持った状態で課題に取り組んだ．頭部，腰，両手，両足の 6 点の位置を取得することでフルボディトラッキングを行い，参加者とアバタの動きを同期させた．

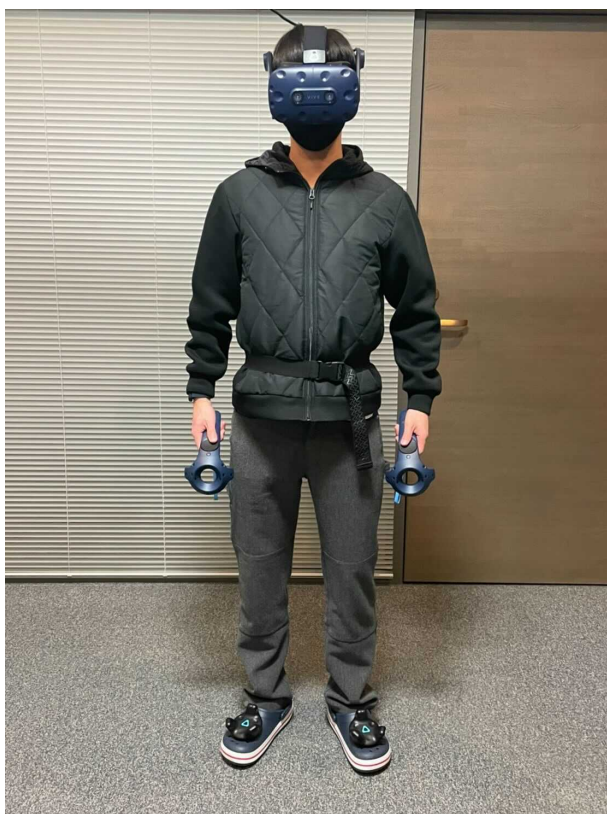


図 2.11 実験装置を装着した様子（正面）



図 2.12 実験装置を装着した様子（背面）

まず，参加者は正面の壁に大きな鏡が設置された VR 空間内 (図 2.8) で，自己身体とアバタが同じ動きをしていることを確認するために，手や足を動かしたり部屋の中を自由に移動した．次に，実験中の怪我を防止するために，参加者は自己身体とアバタが同期していることを確認しながらストレッチを行った．その後，アンケート課題，運動量計測課題，身体位置計測課題，トレーニング課題を図 2.13 のような順番で行った．また，実験の所要時間は約 60 分であった．

2.5 実験手続き

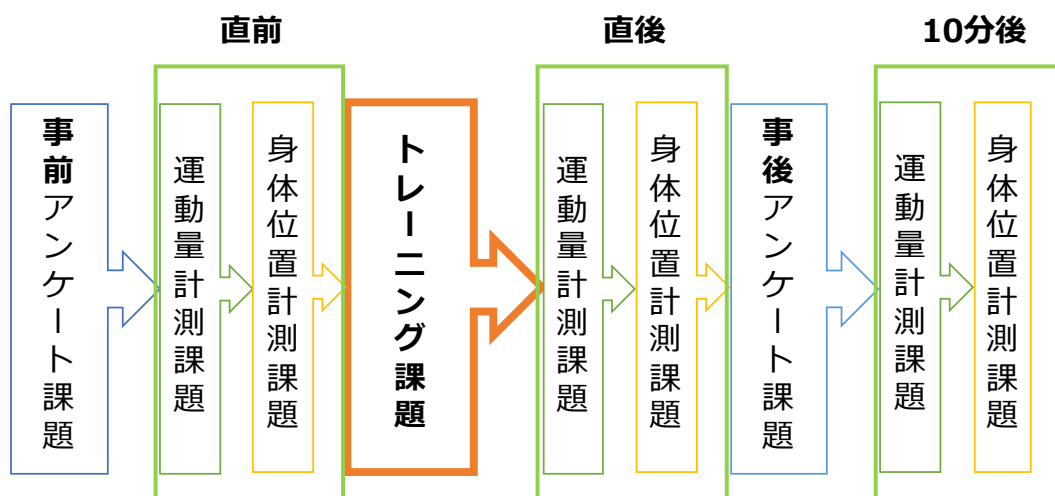


図 2.13 実験の流れ

参加者はエクサゲームのような課題として、楽しんで運動のできるトレーニング課題を行った。アバタはトレーニング課題でのみ表示され、その他の課題では視覚情報を遮断した一様に暗い空間 (図 2.9) で実施したため、身体位置の視覚フィードバックはトレーニング課題でのみ生じた。トレーニング課題の直前、直後、10 分後には、身体感覚及び運動出力を計測する身体位置計測課題、運動量計測課題を実施し、トレーニングによる身体感覚及び運動出力の変化を計測した。また、10 分後の計測は椅子に座った状態で 10 分間休憩した後に実施することで、身体感覚及び運動出力の持続特性について検討した。

2.6 実験課題

2.6.1 アンケート課題

アンケート課題では、トレーニングによる心理的効果を調べるために事前と事後に行った結果を比較した。事前アンケートには、「動機づけ」と「気分状態」を評価するアンケートを使用した。事後アンケートには、動機づけと気分状態に加えて「アバタの身体化」を評価するためのアンケートを使用し、トレーニングによる効果を分析した。また、アンケートは図 2.14 のように VR 空間でレーザーポインタを用いて回答した。

以下の言葉は、人が感じる気分を表すものです。
それぞれを深く読み、あなたに最もあてはまる
番号にチェックを入れてください。

	まったく なかった	少し あった	まあまあ あった	かなり あった	非常に多く あった
	0	1	2	3	4

今現在、どのように感じているか

人づき合いが楽しい	0	<input checked="" type="checkbox"/>	2	3	4
気がはりつめる	0	<input type="checkbox"/>	1	2	3
怒る	0	<input type="checkbox"/>	1	2	3
ぐったりする	0	<input type="checkbox"/>	1	2	3
生き生きする	0	<input type="checkbox"/>	1	2	3

図 2.14 アンケート課題の様子

2.6 実験課題

2.6.2 運動量計測課題

運動量計測課題は図 2.9 で示したように、アバタは表示されずに床のみが表示されている一様に暗い VR 空間で実施した。この課題では、前方の注視点を見ながら足踏みを 20 回行い、足踏み中の足の軌跡を記録した。

2.6.3 身体位置計測課題

身体位置計測課題は、運動量計測課題と同様にアバタの表示されない一様に暗い VR 空間 (図 2.9) で実施した。この課題では、図 2.15 のように足元に表示される赤い球体の位置に右足を動かし、球体と足の甲が重なる位置をコントローラで回答した。また、自己身体位置の計測は 4 試行実施し、球体が表示される位置は地面からの高さが 35.2cm, 44.2cm, 53.2cm, 62.2cm の 4 箇所をランダムな順番で呈示した。参加者には毎回足を床に下ろし、正確に位置推定ができるように 1 回 1 回丁寧に行うように教示した。



図 2.15 身体位置計測課題の様子

2.6 実験課題

2.6.4 トレーニング課題

トレーニング課題は先行研究 [35] を参考にエクサゲームのような課題として、全身運動と視覚フィードバックを同期させた課題を作成した。参加者にはアバタに対する身体所有感や自己主体感を高めるために必要とされている時間より長い間 (5 分から 10 分程度) トレーニングに従事させた。この課題は図 2.8 で示した正面に大きな鏡の設置された VR 空間内で行い、バーチャルな壁や床に表示される 4 つの数字の場所を特定し、手や足を使って数字を昇順に触れる課題を用いた。

トレーニング課題では、図 2.16 のように壁に描かれている赤い線より下に表示された数字は足で触れ、赤い線より上に表示された数字は手で触れるように設定することで、参加者が全身を使った身体運動を行うようにした。表示される数字は正または負の数でいずれも少数第一位までのものを呈示した。また、表示されている数字の位置は 11 箇所 (手 : 4 箇所, 足 : 7 箇所) からランダムに選んだ 4 箇所に呈示され、足の位置の視覚フィードバックを操作した場合であっても身体化できるように、少なくとも 2 箇所は足で数字を触るように設定した。4 つの数字を全て消すことを 1 試行とし、参加者にはこの課題を 30 試行実施した。

また、数字はアバタの足の位置ではなく現実の足の位置で触れると消えるように設定したため、トレーニング課題に必要な運動量は全ての条件において同程度であった。

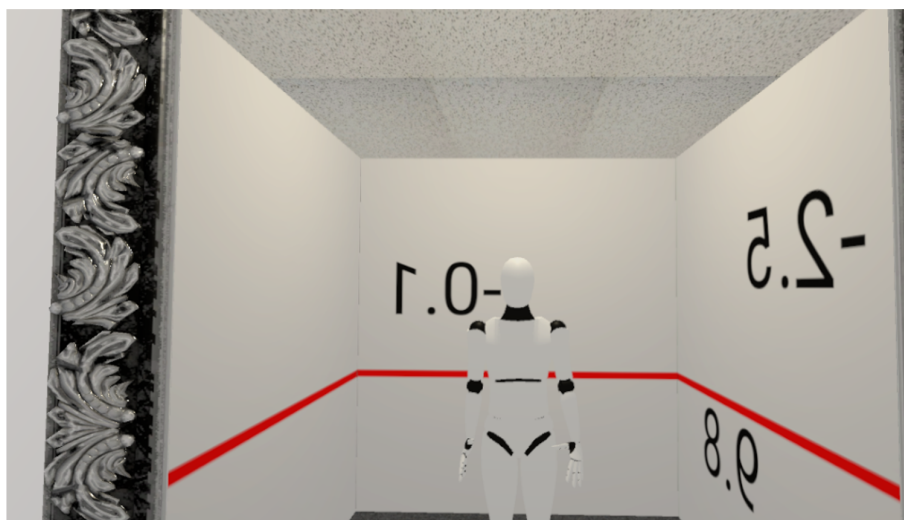


図 2.16 トレーニング課題の様子

2.7 計測項目

2.7 計測項目

2.7.1 運動出力

運動量計測課題により，足踏みをした際の足の上がり幅を上がり幅を計測した．図 2.17，図 2.18 はある参加者の足踏み中の足の軌跡を記録した計測データである．図 2.17 や図 2.18 から分かるように，足の上がり幅は個人差が大きいため，足の上がり幅の単純平均を取ると上がり幅が大きい参加者から著しい影響を受ける可能性がある．そこで，条件間でデータを比較する際の指標として，ベースラインとなるトレーニングの直前の計測からの変化量を式 2.1 のように定めて正規化し，この値を運動出力の評価指標として用いた．

$$\text{運動出力量の変化比率} = \frac{\text{各計測タイミングの足の上がり幅}}{\text{ベースラインの足の上がり幅}} - 1 \quad (2.1)$$

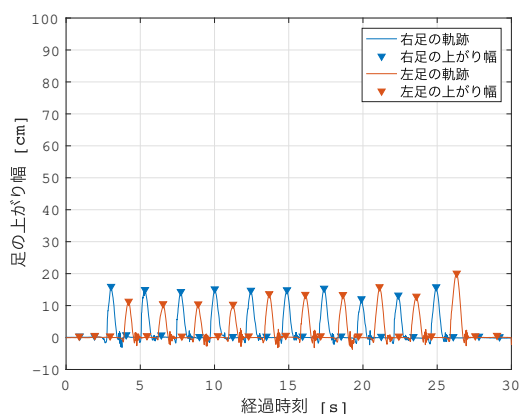


図 2.17 足踏みの計測データの例 1

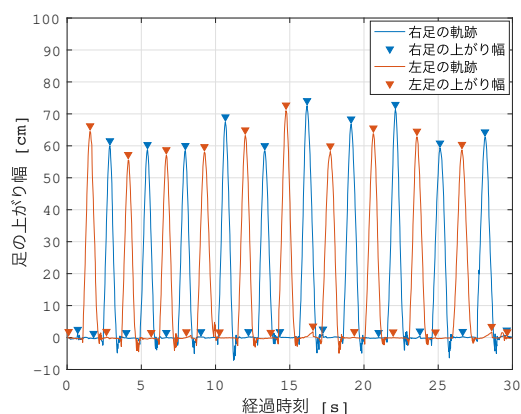


図 2.18 足踏みの計測データの例 2

2.7.2 身体感覚

身体位置計測課題により，呈示された球体と足の位置のズレを計測した．球体に足を合わせた際の足の位置を身体位置とし，身体位置と球体との高さの差を身体感覚のズレとして算出した．身体位置のズレは高さの異なる 4 箇所の球体から求め，4 試行の平均値を身体感覚の評価指標として用いた．

2.7 計測項目

2.7.3 アンケート項目

アバタの身体化

プロテウス効果を生起させる上で重要である感覚が生じているかを調べるため、アバタの身体化に関する一般化アンケート [41] より、身体所有感、自己主体感、自己定位感に関する項目に統制質問を加えた 16 項目を実験の事後に使用した。実際に使用した質問項目を表 2.1 に示す。身体所有感に関する項目は Q1～Q5 の 5 項目、自己主体感に関する項目は Q6～Q9 の 4 項目、自己定位感に関する項目は Q10 の 1 項目であった。また、統制質問として、Q11～Q16 までの 6 項目を使用し、これらをランダムな順番に並び替えて実施した。これらの 16 項目に対して、「-3：強く反対」、「-2：反対」、「-1：やや反対」、「0：どちらでもない」、「1：やや賛成」、「2：賛成」、「3：強く賛成」の 7 件法で評価を行った。

また、分析には身体所有感、自己主体感、自己定位感について、各項目ごとの平均値を評価指標として用いた。

表 2.1 アバタの身体化に関するアンケート項目

項目	質問項目	逆転項目
Q1	バーチャルな身体が自分の身体であるように感じた	
Q2	バーチャルな身体が他の誰かの身体であるように感じた	○
Q3	複数の身体を持っているように感じた	○
Q4	鏡を見たときに映るバーチャルな身体が自分の身体であるのと感じた	
Q5	鏡で自分を見たときに映るバーチャルな身体が別人であるのと感じた	○
Q6	まるで自分の身体のようにバーチャルな身体を操作できると感じた	
Q7	バーチャルな身体の動きは自分の動きによって生じていると感じた	
Q8	バーチャルな身体の動きが自分の動きに影響を与えていると感じた	
Q9	バーチャルな身体が勝手に動いているように感じた	○
Q10	自分の足がバーチャルな足の場所にあるように感じた	
Q11	自分の身体が「アバター」の身体に変わっているように感じた	
Q12	自分の身体がバーチャルな身体の姿勢や形をしているように感じた	
Q13	バーチャルな身体の形や色などの視覚的特徴が自分の身体に似ていると感じた	
Q14	実験室に来たときとは違う服を着ているように感じた	
Q15	自分の手がバーチャルな手の場所にあるように感じた	
Q16	自分の身体がバーチャルな身体の場所にあるように感じた	

2.7 計測項目

動機づけ

動機づけについて、メタ認知に関するアンケートを実験の事前と事後に実施した。メタ認知は自分自身の行動や知識に対する認知であり、トレーニングや学習などの動機づけに効果的であるとされている [42]。実際に使用したアンケート項目を表 2.2, 表 2.3 に示す。アンケートは先行研究を参考に、Enjoyment (Q1~Q3) [43], Engagement (Q4~Q6) [43], Interest (Q7~Q9) [44], Boredom (Q10~Q12) [45] について、それぞれ 3 項目ずつの計 12 項目の平均値を指標とした。これらの 12 項目に対して、中央値を「4: どちらともいえない」とし、「1: 全くそう思わない」から「7: とてもそう思う」の 7 件法で評価を行った。

また、参加者は事前にトレーニングに対する楽しさなどの予測、事後にトレーニングを実際に行って楽しかったかを回答した。事前と事後の比較により、トレーニングの楽しさや動機づけについて評価した。

気分状態

気分状態について、スポーツやエクササイズの前後に使用され、疲労度チェックなどに役立つとされている POMS2 (Profile of Mood States 2nd Edition) 日本語版 [46] を使用した。このアンケートでは、人の性格的な傾向ではなく、対象者がおかれている状況によって変化する一時的な感情や気分状態の変化を測定できる。特に本研究においては、実験の参加者が 18 歳以上であること、トレーニングによる事前と事後の気分状態の変化を調べることから、成人用の短縮版を使用した。POMS2 は「怒り－敵意」、「混乱－当惑」、「抑うつ－落込み」、「疲労－無気力」、「緊張－不安」、「活気－活力」、「友好」の 7 つの尺度に加え、ネガティブな気分状態を総合的に表す「TMD (total mood disturbance) 得点」から気分状態を評価することが可能である。短縮版では、7 つの各尺度について 5 項目ずつの計 35 項目を有しており、「0: 全くなかった」、「1: 少しあった」、「2: まあまああった」、「3: かなりあった」、「4: 非常に多くあった」の 5 件法で評価を行った。その合計点 (素点) から同封されている気分プロフィール表に従って算出した T 得点を評価指標として用いた。

2.7 計測項目

表 2.2 動機づけに関するアンケート項目（事前）

項目	質問項目	逆転項目
Q1	私はトレーニングをととても楽しんでいる	
Q2	私はトレーニングを退屈だと思う	○
Q3	トレーニングは楽しい	
Q4	私はトレーニングにすっかり熱中する	
Q5	私は時間が経つのを忘れるくらいトレーニングに夢中になる	
Q6	私はトレーニングに集中する	
Q7	トレーニングは面白い	
Q8	私はトレーニングが好きだ	
Q9	トレーニングは面白いと思う	
Q10	トレーニングは退屈だ	○
Q11	トレーニングはととてもつまらない	○
Q12	トレーニングに飽き飽きする	○

表 2.3 動機づけに関するアンケート項目（事後）

項目	質問項目	逆転項目
Q1	私はトレーニングをととても楽しんでいる	
Q2	私はトレーニングを退屈だと思う	○
Q3	トレーニングは楽しい	
Q4	私はトレーニングにすっかり熱中させられた	
Q5	私は時間が経つのを忘れるくらいトレーニングに夢中になった	
Q6	私はトレーニングに集中した	
Q7	トレーニングは面白い	
Q8	私はトレーニングが好きだ	
Q9	トレーニングは面白いと思った	
Q10	トレーニングは退屈だった	○
Q11	トレーニングはととてもつまらない	○
Q12	トレーニングに飽き飽きした	○

2.8 実験1の結果

2.8.1 アバタの身体化の結果

アバタの身体化について、身体所有感、自己主体感、自己定位感ごとに足の位置 (Low・Normal・High) によるクラスカル・ウォリス検定を行った。

身体所有感

アバタの身体所有感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .9759$, $\eta^2 = .0017$) (図 2.19)。

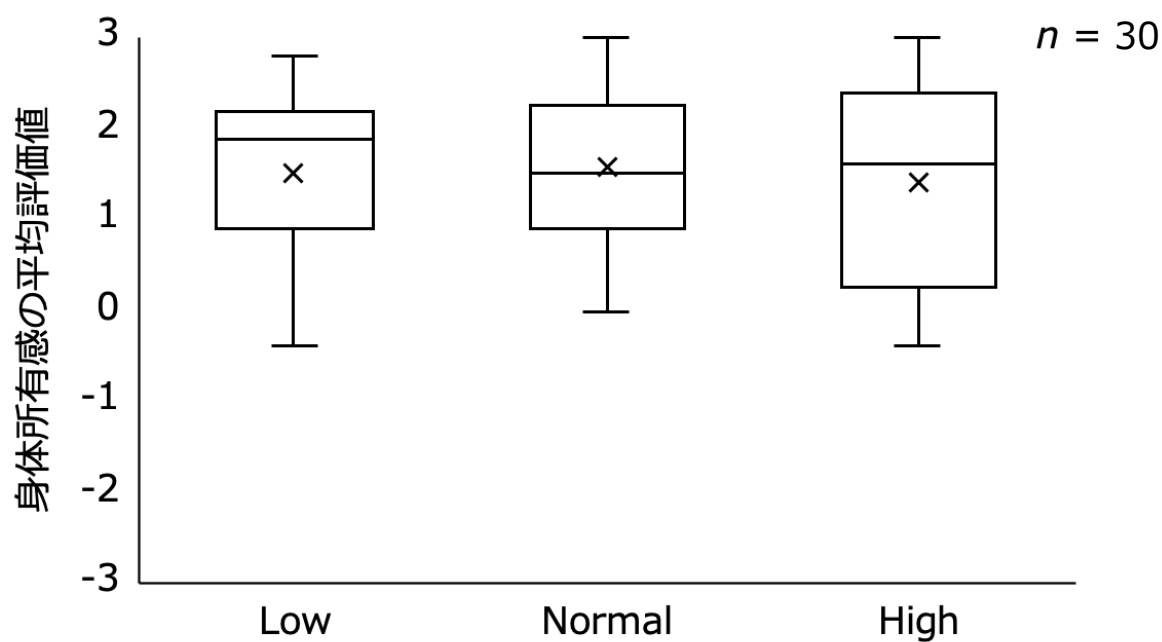


図 2.19 実験1 - 身体所有感の結果

2.8 実験1の結果

自己主体感

アバタの自己主体感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .5807$, $\eta^2 = .0375$) (図 2.20).

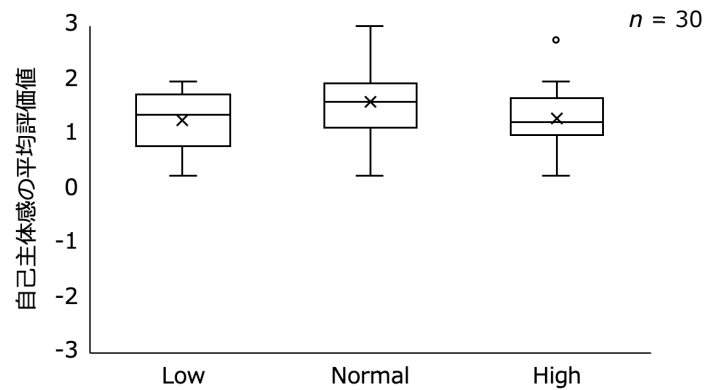


図 2.20 実験1 - 自己主体感の結果

自己定位感

アバタの自己定位感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .2555$, $\eta^2 = .0941$) (図 2.21).

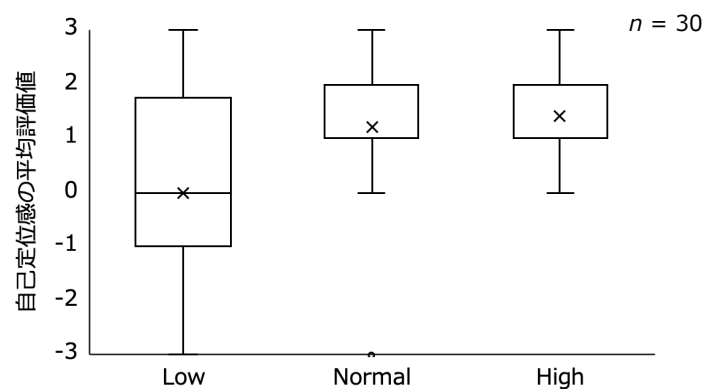


図 2.21 実験1 - 自己定位感の結果

2.8 実験1の結果

2.8.2 動機づけの結果

トレーニングに対する動機づけについて、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (事前・事後, 対応あり) の組み合わせによる 2 要因混合計画分散分析を行った。その結果、事前よりも事後の方が動機づけに対する得点が高いという傾向が見られた ($F(1, 27) = 3.5158, p = .0716, \eta^2 = .0366$) (図 2.22)。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 1.1346, p = .3364, \eta^2 = .0237$)。

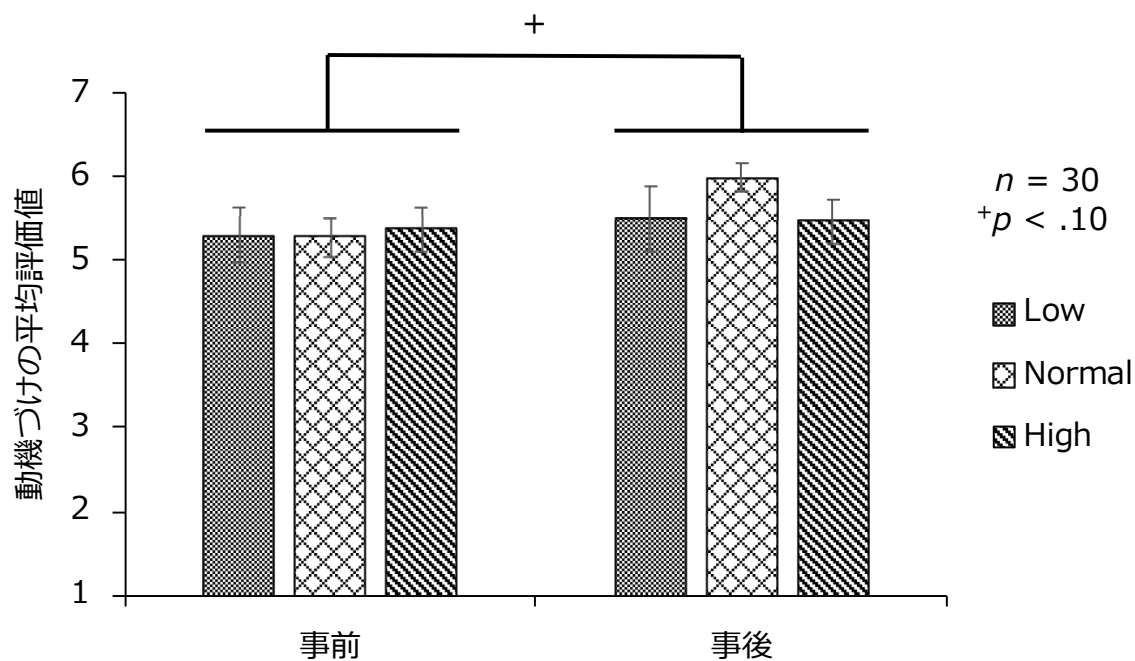


図 2.22 実験1 - 動機づけの結果

2.8 実験1の結果

2.8.3 身体感覚の結果

身体感覚について、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (直前・直後・10分後, 対応あり) の組み合わせによる 2 要因混合計画分散分析を行った。その結果、計測タイミングに主効果が見られた ($F(2, 54) = 6.7981, p = .0023, \eta^2 = .0331$)。そこで、Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ、トレーニングの直前よりも直後と 10 分後の方が有意に身体位置の出力をより高くするという結果が得られた ($t(27) = 2.7757, p = .0139; t(27) = 3.0859, p = .0139$) (図 2.23)。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(4, 54) = 1.7613, p = .1502, \eta^2 = .0172$)。

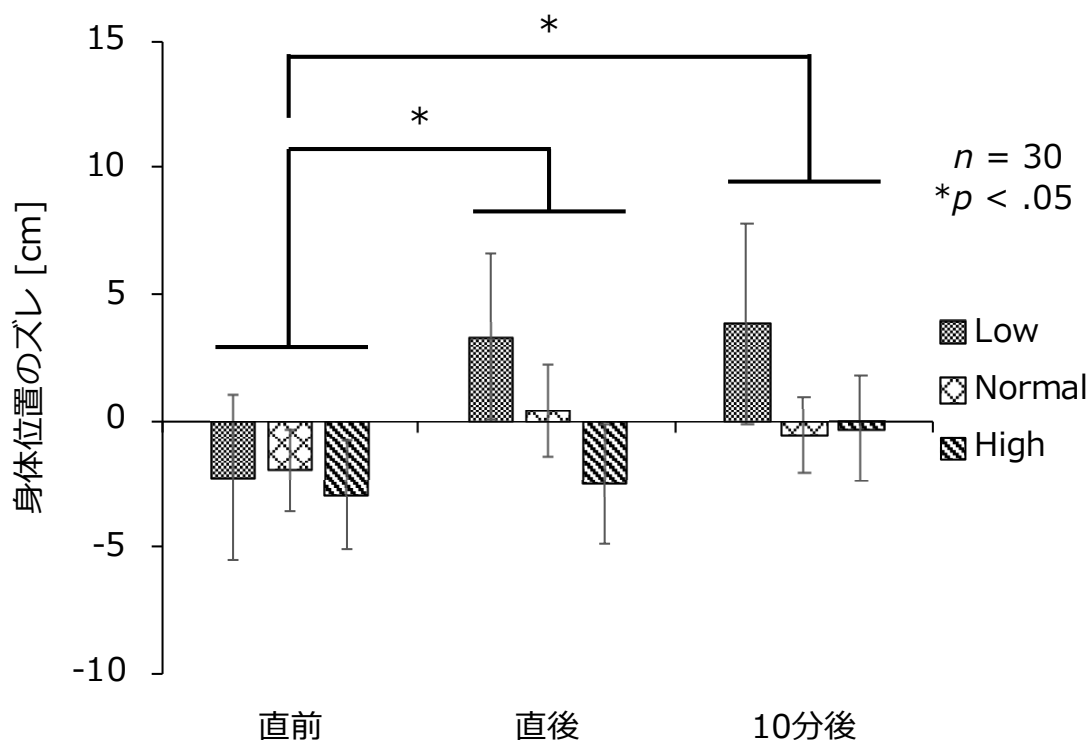


図 2.23 実験 1 - 身体感覚の結果

2.8 実験1の結果

2.8.4 運動出力の結果

運動出力について、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (直前・直後・10分後, 対応あり) の組み合わせによる 2 要因混合計画分散分析を行った. その結果, 計測タイミングに主効果が見られた ($F(2, 54) = 3.7673, p = .0294, \eta^2 = .0539$). そこで, Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ, トレーニングの直後の方が 10 分後よりも有意に運動出力量が高いという結果が得られた ($t(27) = 3.3715, p = .0068$) (図 2.24).

また, 足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(4, 54) = 1.1650, p = .3365, \eta^2 = .0334$).

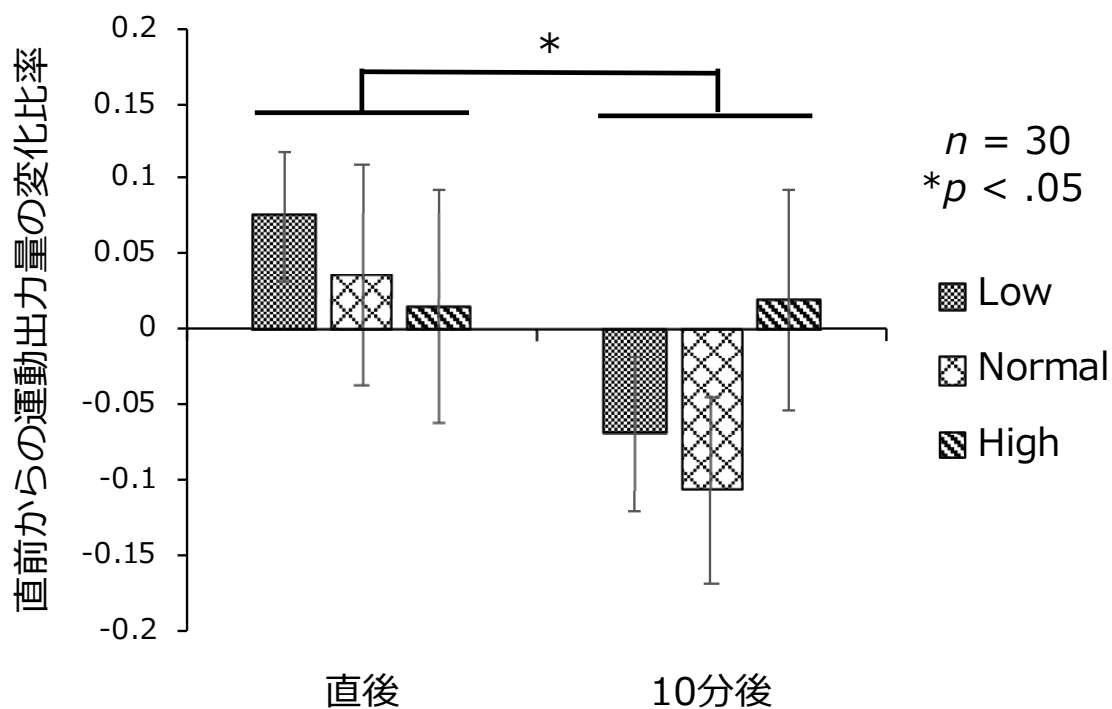


図 2.24 実験1 - 運動出力の結果

2.8 実験1の結果

2.8.5 気分状態の結果

気分状態について、POMS2の各尺度（「怒り－敵意」，「混乱－当惑」，「抑うつ－落込み」，「疲労－無気力」，「緊張－不安」，「活気－活力」，「友好」，「TMD 得点」）ごとに足の位置（Low・Normal・High，対応なし）及び計測タイミング（事前・事後，対応あり）の組み合わせによる2要因混合計画分散分析を行った。

怒り－敵意

怒り－敵意について、2要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が怒り－敵意に対する得点が有意に低いという結果が得られた（ $F(1, 27) = 11.5687, p = .0021, \eta^2 = .0444$ ）（図 2.25）。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった（ $F(2, 27) = 0.1228, p = .8850, \eta^2 = .0009$ ）。

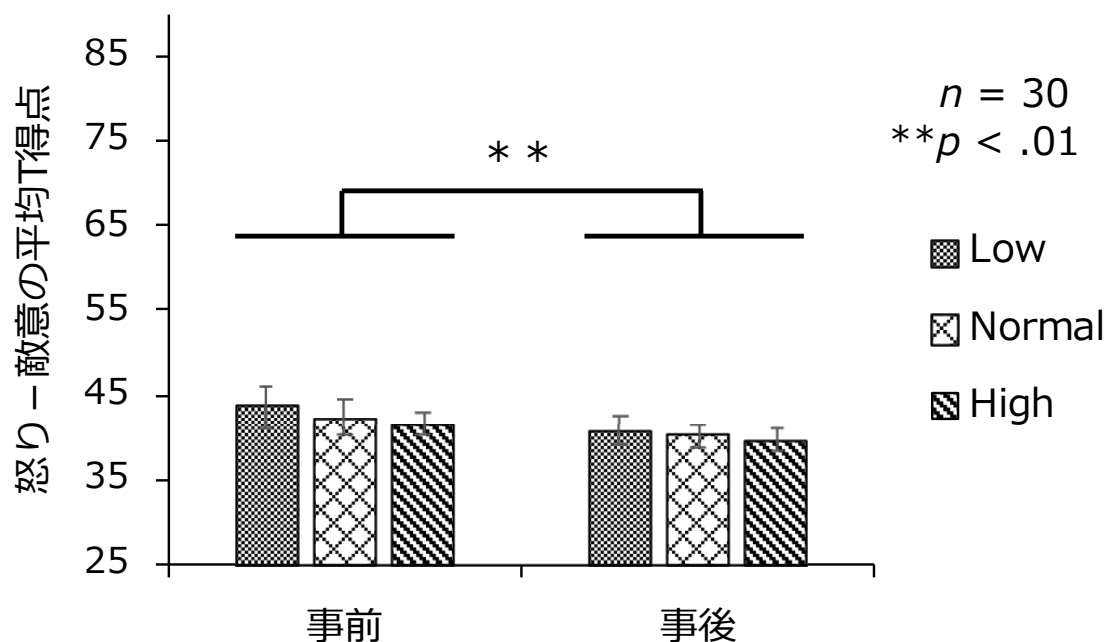


図 2.25 実験1 - 怒り－敵意の結果

2.8 実験1の結果

混乱－当惑

混乱－当惑について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が混乱－当惑に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 11.7425, p = .0020, \eta^2 = .0521$) (図 2.26).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.6007, p = .5556, \eta^2 = .0053$).

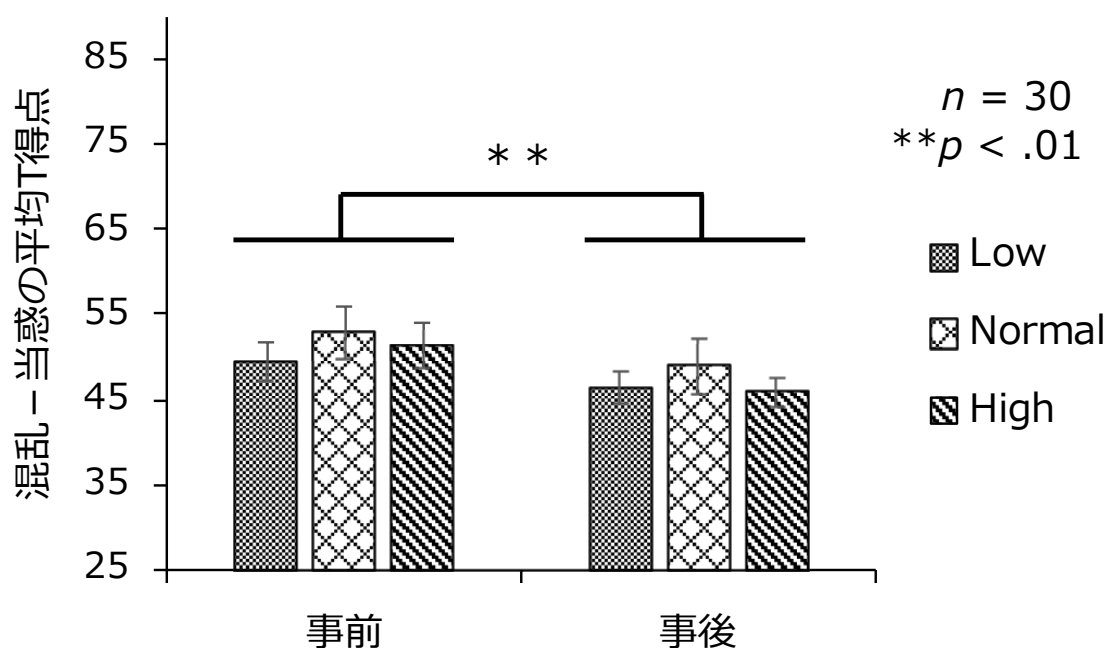


図 2.26 実験1 - 混乱－当惑の結果

2.8 実験1の結果

抑うつ－落込み

抑うつ－落込みについて、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が抑うつ－落込みに対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 13.7121, p = .0010, \eta^2 = .0650$) (図 2.27).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.5982, p = .5569, \eta^2 = .0057$).

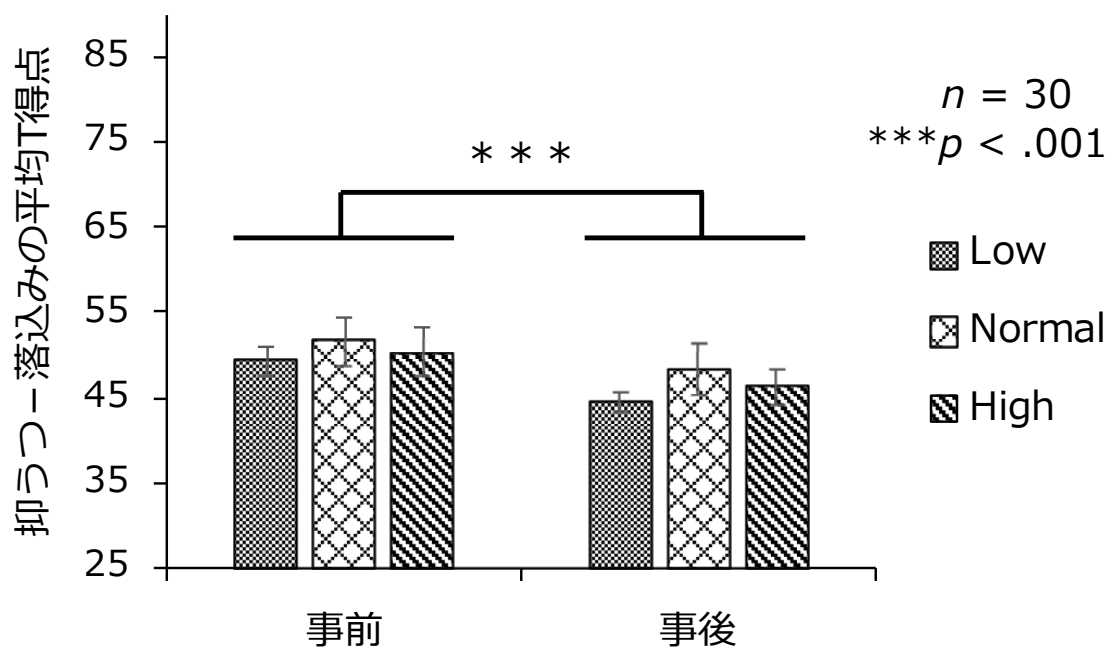


図 2.27 実験1 - 抑うつ－落込みの結果

2.8 実験1の結果

疲労－無気力

疲労－無気力について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 0.6203, p = .5453, \eta^2 = .0308$; $F(1, 27) = 0.5549, p = .4628, \eta^2 = .0059$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.2194, p = .8044, \eta^2 = .0047$) (図 2.28).

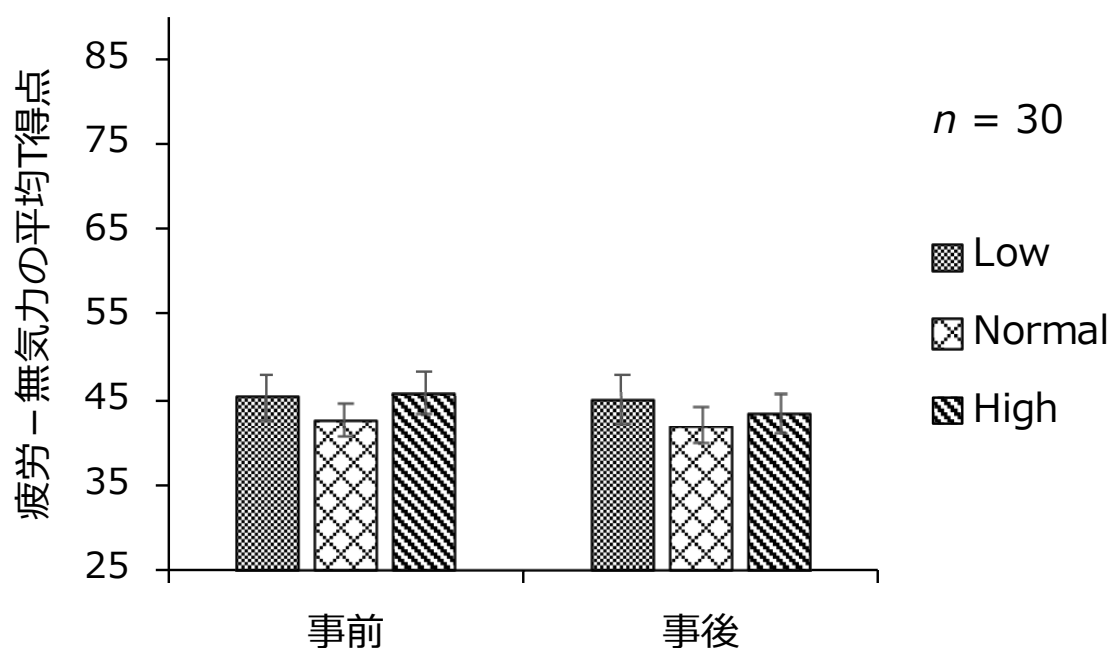


図 2.28 実験1 - 疲労－無気力の結果

2.8 実験1の結果

緊張－不安

緊張－不安について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が緊張－不安に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 28.3777, p < .0001, \eta^2 = .1239$) (図 2.29).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.3185, p = .7299, \eta^2 = .0028$).

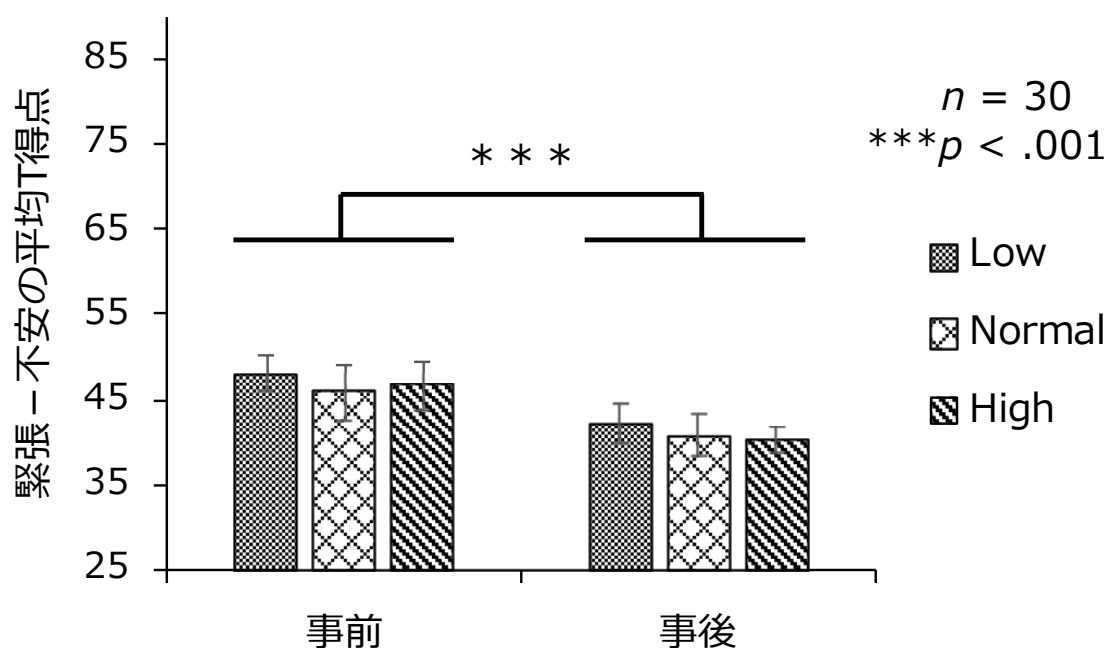


図 2.29 実験1 - 緊張－不安の結果

2.8 実験1の結果

活気－活力

活気－活力について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 0.8469, p = .4398, \eta^2 = .0532$; $F(1, 27) = 1.3217, p = .2604, \eta^2 = .0045$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.1642, p = .8494, \eta^2 = .0011$) (図 2.30).

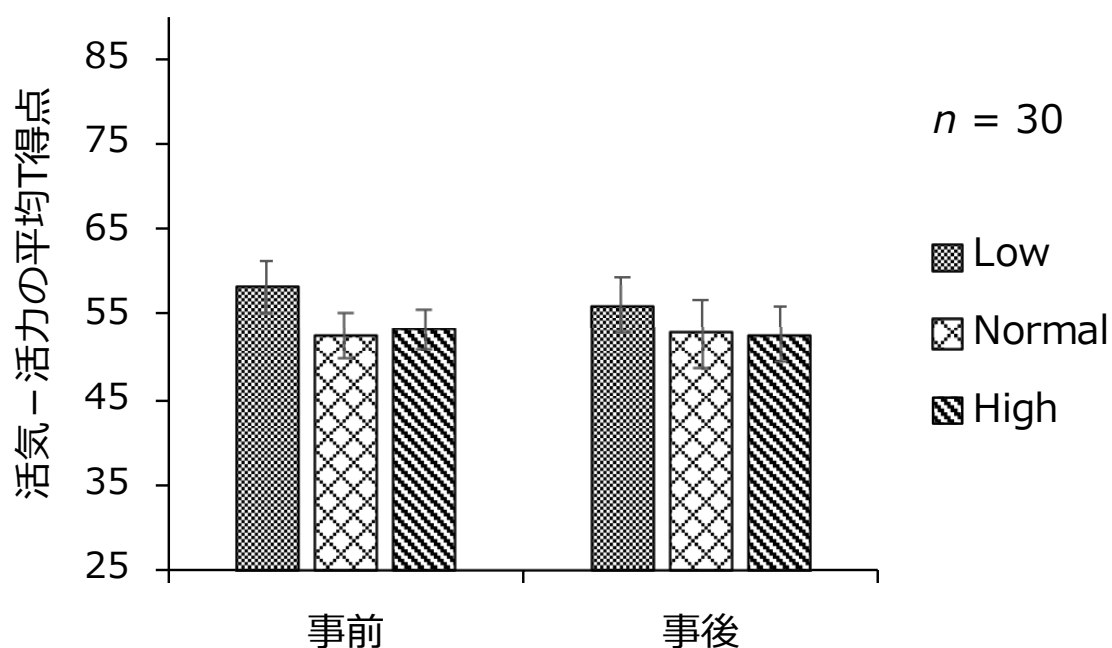


図 2.30 実験1 - 活気－活力の結果

2.8 実験1の結果

友好

友好について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置に主効果が見られた ($F(2, 27) = 3.4144, p = .0476, \eta^2 = .1884$). そこで、Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ、Low 条件は Normal 条件よりも友好に対する得点が有意に高いという結果が得られた ($t(27) = 2.5701, p = .0480$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差が認められた ($F(2, 27) = 8.2938, p = .0016, \eta^2 = .0248$) (図 2.31). そこで単純主効果の検定を行った結果、事前において足の位置に有意な差が認められた ($F(2, 27) = 6.1894, p = .0061, \eta^2 = .3144$). そこで、Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ、Low 条件は Normal 条件よりも友好に対する得点が有意に高いという結果が得られた ($t(27) = 3.5166, p = .0047$). また、Normal 条件において事前よりも事後の方が友好に対する得点が有意に高く、High 条件において事前よりも事後の方が友好に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 9) = 9.8553, p = .0119, \eta^2 = .0301$; $F(1, 9) = 6.5769, p = .0305, \eta^2 = .0731$).

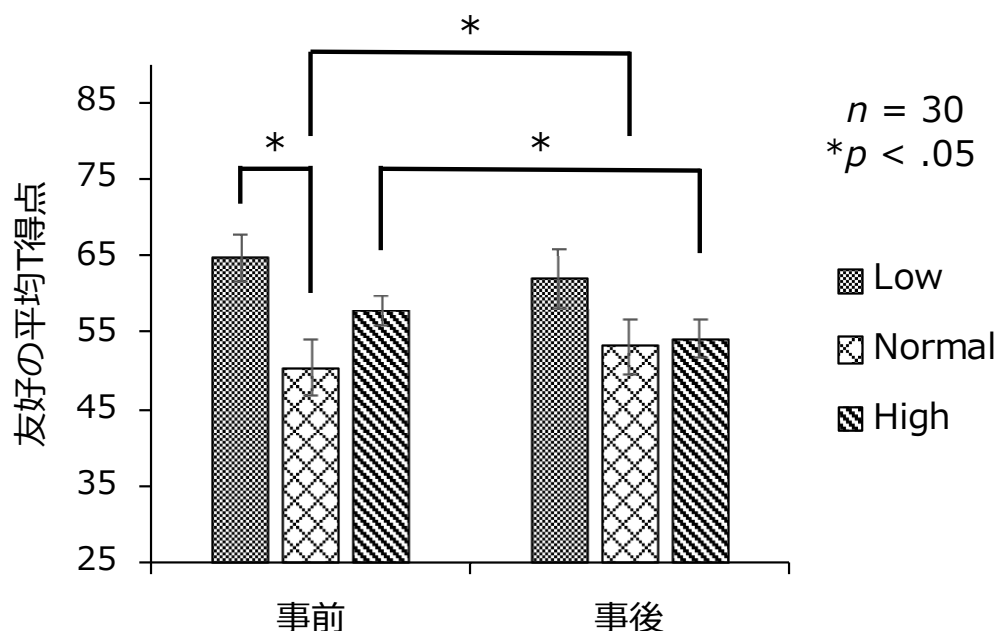


図 2.31 実験1 - 友好の結果

2.8 実験1の結果

TMD 得点

TMD 得点について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が TMD 得点に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 12.1987, p = .0017, \eta^2 = .0572$) (図 2.32).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.2838, p = .7552, \eta^2 = .0027$).

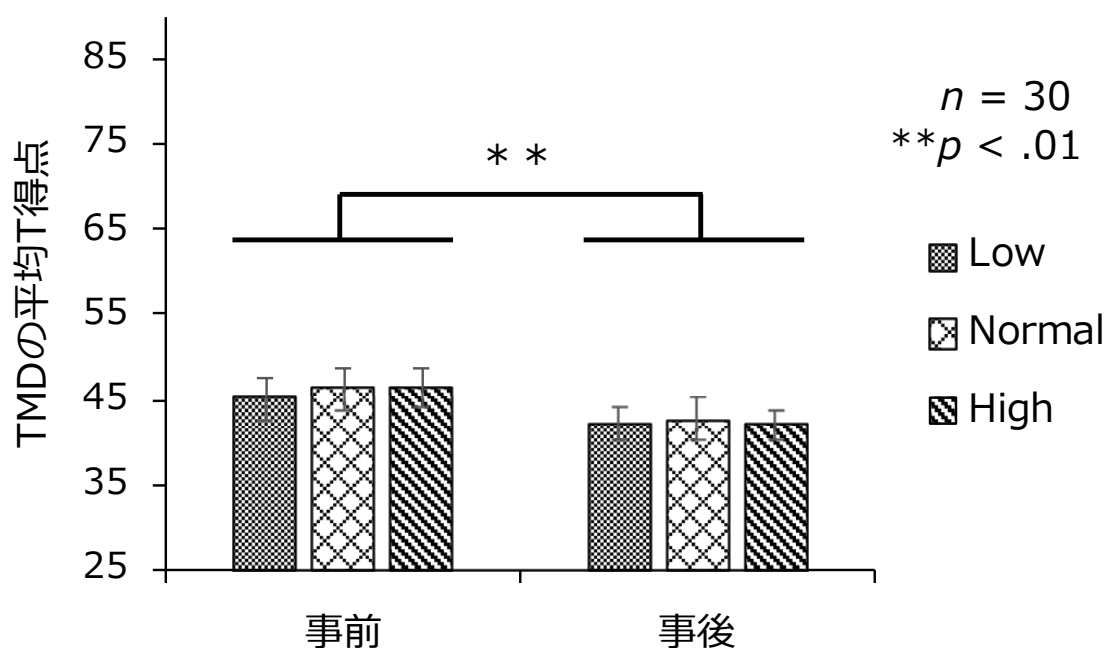


図 2.32 実験1 - TMD 得点の結果

2.9 実験1の考察

2.9.1 アバタの身体化

プロテウス効果において重要であるとされているアバタの身体化について、アンケートによる主観評価の結果、身体所有感、自己主体感、足の身体位置の全てにおいて足の位置の条件による差は見られなかった。また、身体所有感、自己主体感の結果から、Low 条件や High 条件においても Normal 条件と同様に自己の身体として知覚できるだけでなく、自由に操作することが可能であることが示された。先行研究では、10 分未満の短い時間であっても、アバタの足が柔軟に動くアバタに適応できるという報告がなされている [47] ことを踏まえると、人間は起立や歩行に関わる足の視覚フィードバックが操作したアバタであっても短い時間のトレーニングで適応することが可能であると考えられる。

しかし、自己定位感については足の位置の条件による差は見られなかったが、Low 条件においてのみ分散が大きく、個人差の影響が強く現れていた。この結果について、High 条件においても Low 条件と同様に視覚フィードバックを操作しているにも関わらず、Normal 条件とデータの分布に違いが見られなかったことから、Low 条件のような「足を上げているのに視覚的には上がっていない」といったネガティブな刺激が定位感に与える影響が大きい可能性が考えられる。

2.9.2 動機づけ

トレーニングに対する動機づけのアンケートでは、条件間に有意な差は見られなかったが、事前よりも事後の方が動機づけに対する得点が高いという傾向が見られたことから、トレーニング直前の予測と同程度以上にトレーニングを楽しんでいることが示された。したがって、本研究においても先行研究 [9] と同様に全身運動を伴うエクサゲームとして、運動に対して効果的に動機づけされることが示された。また、足の位置の条件による差がなかったことから、視覚フィードバックを操作したアバタであっても、通常の視覚フィードバックのアバタと同程度に楽しくトレーニングをすることが可能であることが示された。

2.9 実験1の考察

2.9.3 身体感覚及び運動出力

身体感覚の結果では、トレーニングをすることで足の身体位置の出力が高くなり、その効果は10分後も継続することが明らかになった。しかし、足の位置の条件による効果は認められなかった。また、運動出力の結果でも、足の位置の条件による効果は認められず、トレーニングの直後よりも10分後の方が運動出力が低いことが示された。本実験において、足の位置の条件間に差が見られなかった原因として、参加者の運動習慣が関与していると考えられる。Ehrsson はダンサーやスポーツ選手などの普段から身体をよく使う者は、視覚に頼らずに自分の四肢の位置を正確に把握できる人々には身体の錯覚が生じにくいと指摘している [48]。したがって、本実験においても参加者の運動習慣が身体感覚の変容を妨げたため、運動出力にも影響が出なかったのではないかと推測した。そこで、実験終了後に実施した運動習慣に関するアンケートを確認したところ、30名の参加者うちの10名の参加者が1回30分以上の運動を週2日以上実施しており、運動習慣があるということがわかった。

これらを踏まえて、実験2では運動習慣がない参加者に対してトレーニングを実施し、運動を促進させることが可能であるかを検討した。

2.9.4 気分状態

気分状態に関するアンケートでは、怒り－敵意、混乱－当惑、抑うつ－落込み、緊張－不安、TMD 得点において事前よりも事後の方が有意に低い数値を示していた。この結果は先行研究と同様のものであり、一過性の運動が否定的感情を低下させることが示されている [49]。また、運動により肯定的感情が増加しなかった理由として、先行研究では肯定的感情の上昇には活発な運動が必要であると指摘しているため [50]、本実験で実施した運動の強度が低かった可能性が考えられる。

また、友好において足の位置及び計測タイミングの交互作用が見られたが、ベースラインである事前の T 得点に差があったことから、個人差の影響を強く受けている可能性が考えられる。したがって、今後は参加者の数を増やして検討する必要がある。

第 3 章

実験 2 の内容

3.1 実験手続き及び参加者

実験 1 の追加実験として、参加者を運動習慣がない者に限定して実験 1 と同様の手続きで実験を実施した。

参加者は運動をする習慣がなく、正常な視力または矯正視力を有する大学生 30 名 (男性 19 名, 女性 11 名; 年齢 20.3 ± 1.3 歳) であった。矯正視力を持つ参加者は眼鏡をかけた状態で HMD を頭部に装着し、視覚刺激が正常に見えることを確認した上で実験を行った。ただし、実験の手続きとして参加者には一様に暗い空間で待機してもらう必要があるため、事前に閉所恐怖症でないことの確認を行った。また、参加者は実験内容を十分理解した上での自由意志による参加である同意を取った。

分析には実験 1 の参加者のうち、運動習慣がないもの 20 名と追加で募集した 10 名のデータを使用した。

3.2 実験2の結果

3.2.1 アバタの身体化の結果

アバタの身体化について、身体所有感、自己主体感、足の身体位置ごとに足の位置 (Low・Normal・High) によるクラスカル・ウォリス検定を行った。

身体所有感

アバタの身体所有感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .7304$, $\eta^2 = .0217$) (図 3.1)。

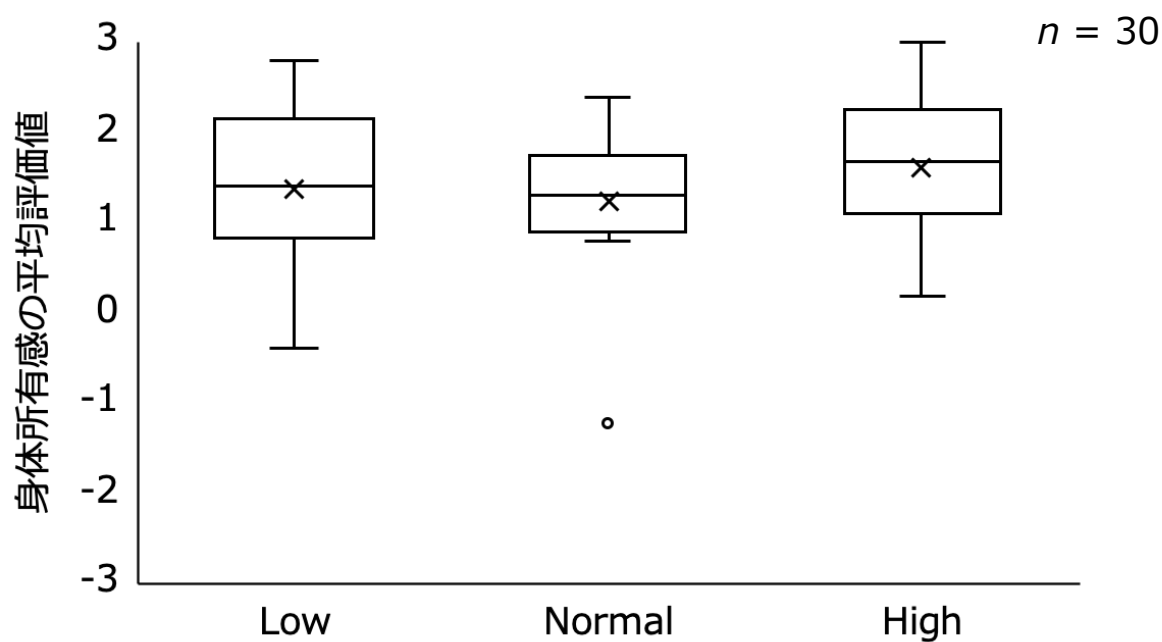


図 3.1 実験2 - 身体所有感の結果

3.2 実験2の結果

自己主体感

アバタの自己主体感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .4730$, $\eta^2 = .0516$) (図 3.2).

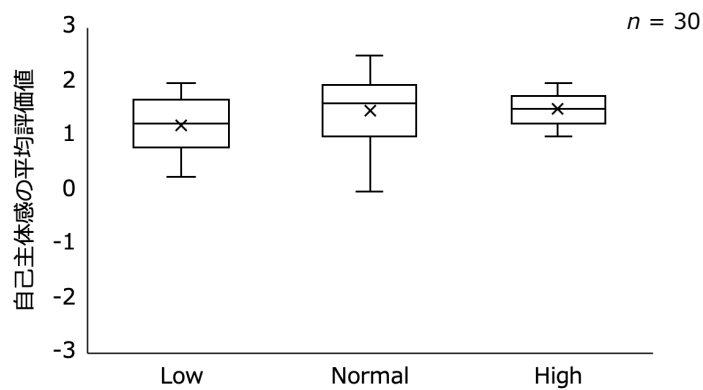


図 3.2 実験2 - 自己主体感の結果

自己定位感

アバタの自己定位感について、クラスカル・ウォリス検定を行ったところ、有意な差は認められなかった ($p = .1563$, $\eta^2 = .1280$) (図 3.3).

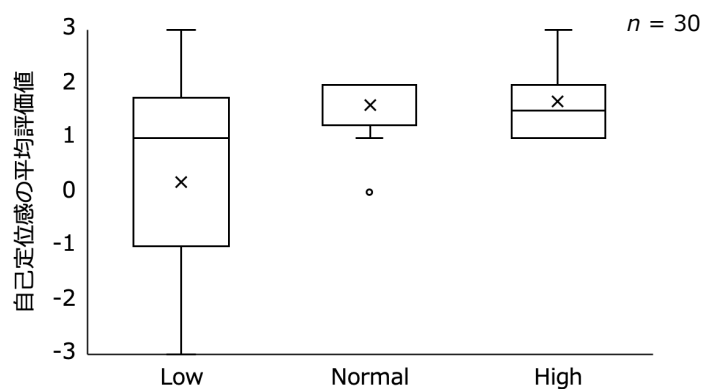


図 3.3 実験2 - 自己定位感の結果

3.2 実験2の結果

3.2.2 動機づけの結果

トレーニングに対する動機づけについて、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (事前・事後, 対応あり) の組み合わせによる2要因混合計画分散分析を行った。その結果、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 0.3837, p = .6850, \eta^2 = .0197$; $F(1, 27) = 2.6228, p = .1170, \eta^2 = .0249$)。また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.1951, p = .8239, \eta^2 = .0037$) (図3.4)。

トレーニング課題の楽しさを調べるために、全ての条件において中央値の「4. どちらともいえない」に対して一標本 t 検定を行った。また、 t 検定を繰り返すことによる第一種の誤りを防ぐため、 p 値を6倍 (繰り返した回数) して補正を行った。その結果、全ての条件において、中央値の「4. どちらともいえない」よりも有意に高いという結果が得られた ($t(9) = 3.8148, p = .0247$; $t(9) = 5.6948, p = .0018$; $t(9) = 5.2310, p = .0032$; $t(9) = 3.9952, p = .0188$; $t(9) = 8.6311, p < .0001$; $t(9) = 5.4945, p = .0023$)。

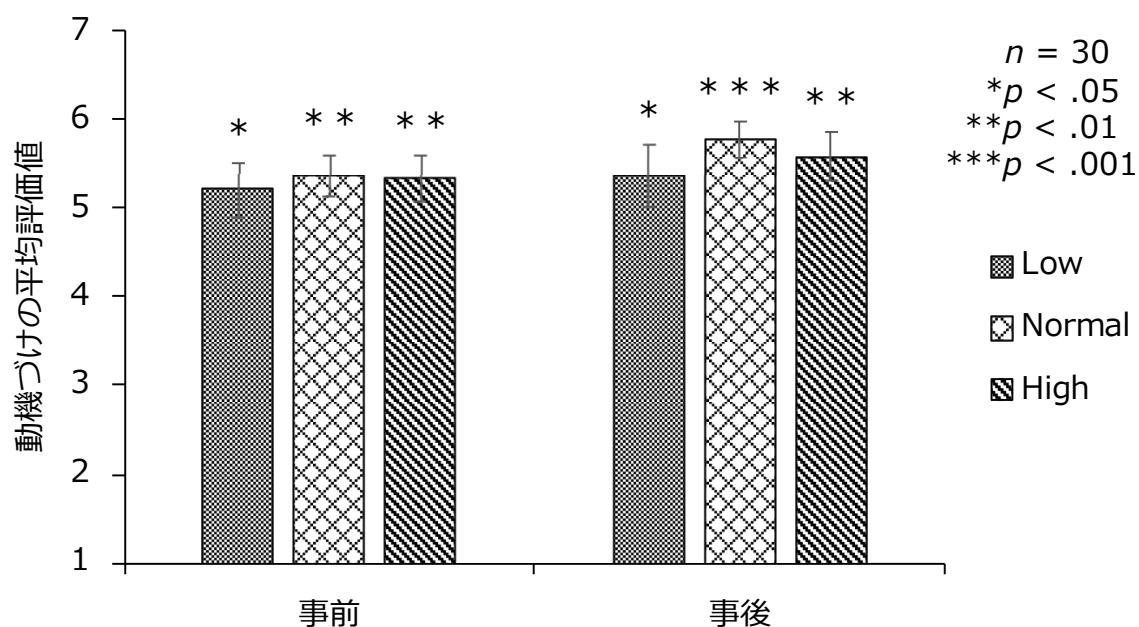


図 3.4 実験2 - 動機づけの結果

3.2 実験2の結果

3.2.3 身体感覚の結果

身体感覚について、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (直前・直後・10分後, 対応あり) の組み合わせによる2要因混合計画分散分析を行った。その結果、計測タイミングに主効果が見られた ($F(2, 54) = 8.5114, p = .0006, \eta^2 = .0329$)。そこで、Shaffer法を用いた多重比較を行ったところ、トレーニングの直前よりも直後と10分後の方が有意に身体位置の出力が高いという結果が得られた ($t(27) = 3.2851, p = .0079$; $t(27) = 3.3109, p = .0079$)。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差が認められた ($F(4, 54) = 4.4934, p = .0033, \eta^2 = .0347$)。そこで単純主効果検定を行った結果、Low条件において計測タイミングに有意な差が認められた ($F(2, 18) = 12.0343, p = .0005, \eta^2 = .1171$)。そこで、Shaffer法を用いた多重比較を行ったところ、トレーニングの直前よりも直後と10分後の方が有意に身体感覚が高いという結果が得られた ($t(9) = 3.8980, p = .0069$; $t(9) = 4.2035, p = .0069$) (図3.5)。

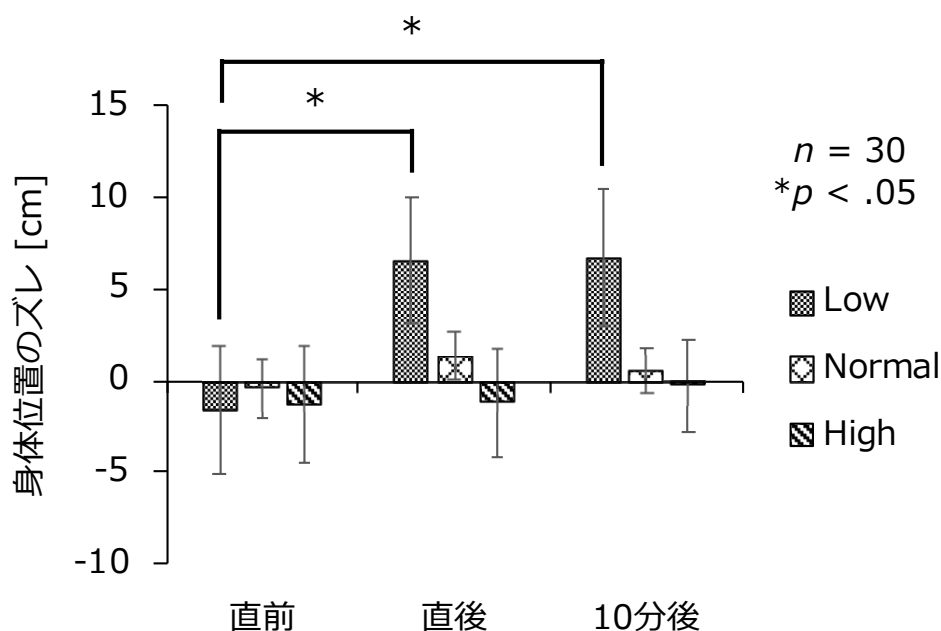


図 3.5 実験2 - 身体感覚の結果

3.2 実験2の結果

3.2.4 運動出力の結果

運動出力について、足の位置 (Low・Normal・High, 対応なし) 及び計測タイミング (直前・直後・10 分後, 対応あり) の組み合わせによる 2 要因混合計画分散分析を行った。その結果、計測タイミングに主効果が見られた ($F(2, 54) = 3.4111, p = .0403, \eta^2 = .0493$)。そこで、Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ、トレーニングの直後の方が直前と 10 分後よりも有意に運動出力量が高いという結果が得られた ($t(27) = 2.0680, p = .0483$; $t(27) = 2.5825, p = .0467$)。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な傾向が見られた ($F(4, 54) = 2.4186, p = .0596, \eta^2 = .0698$)。そこで単純主効果検定を行った結果、Low 条件において計測タイミングに有意な差が認められた ($F(2, 18) = 8.9177, p = .0020, \eta^2 = .3284$)。そこで、Shaffer 法を用いた多重比較を行ったところ、トレーニングの直前と 10 分後よりも直後の方が有意に運動出力比が高いという結果が得られた ($t(9) = 4.8999, p = .0025$; $t(9) = 3.8008, p = .0042$) (図 3.6)。

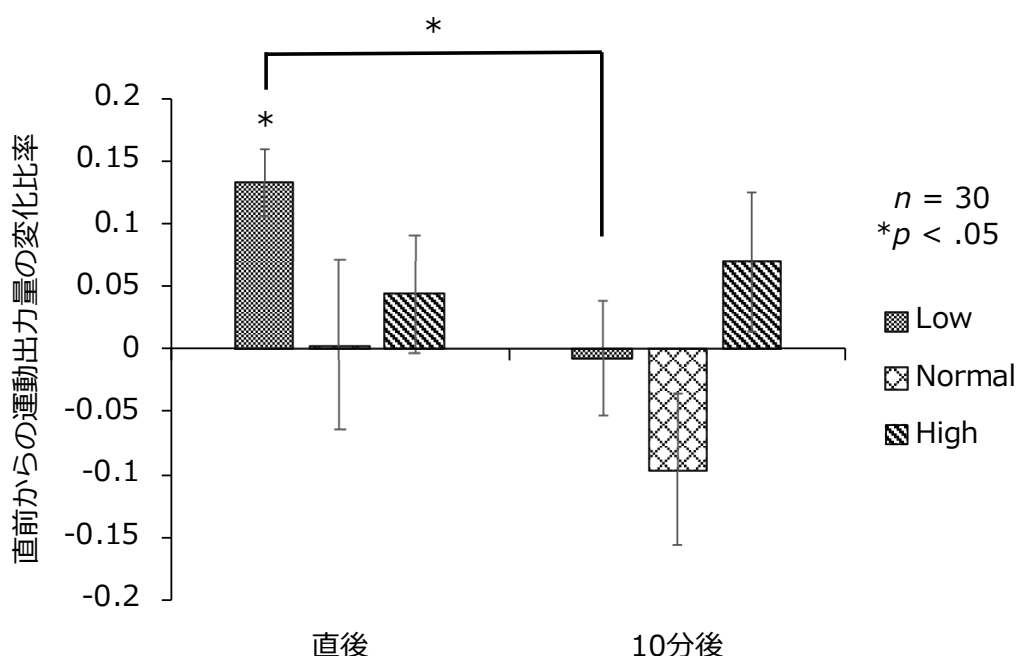


図 3.6 実験2 - 運動出力の結果

3.2 実験2の結果

3.2.5 気分状態の結果

気分状態について、POMS2の各尺度（「怒り－敵意」，「混乱－当惑」，「抑うつ－落込み」，「疲労－無気力」，「緊張－不安」，「活気－活力」，「友好」，「TMD得点」）ごとに足の位置（Low・Normal・High，対応なし）及び計測タイミング（事前・事後，対応あり）の組み合わせによる2要因混合計画分散分析を行った。

怒り－敵意

怒り－敵意について、2要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が怒り－敵意に対する得点が有意に低いという結果が得られた（ $F(1, 27) = 10.5664$, $p = .0031$, $\eta^2 = .0438$ ）（図3.7）。

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった（ $F(2, 27) = 0.0854$, $p = .9184$, $\eta^2 = .0007$ ）。

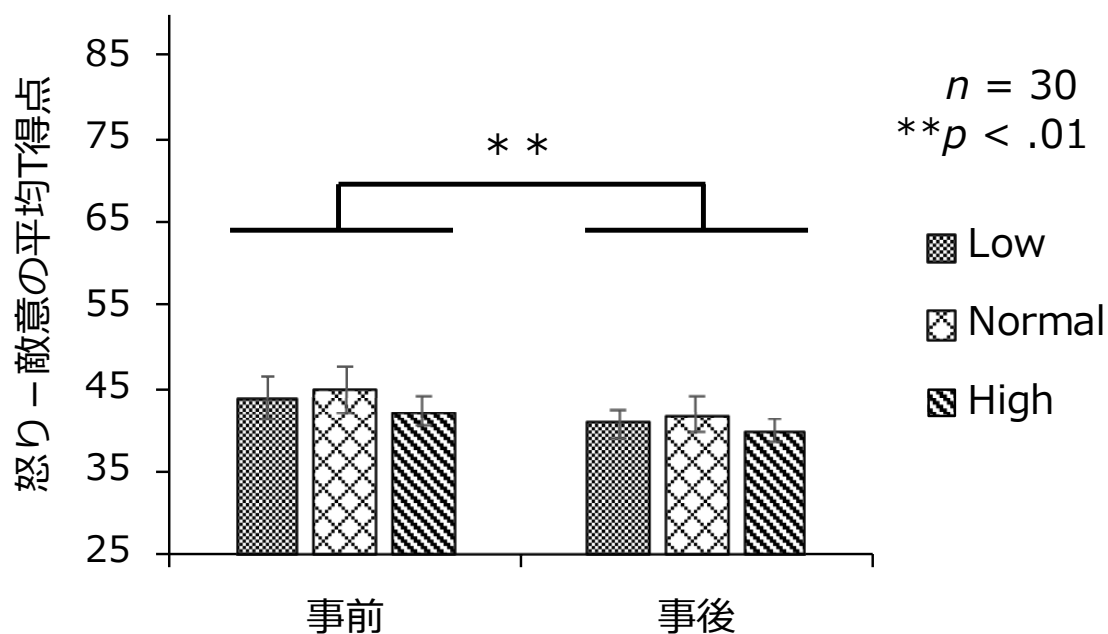


図 3.7 実験2 - 怒り－敵意の結果

3.2 実験2の結果

混乱－当惑

混乱－当惑について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が混乱－当惑に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 23.3315, p < .0001, \eta^2 = .0736$) (図 3.8).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 1.5033, p = .2404, \eta^2 = .0095$).

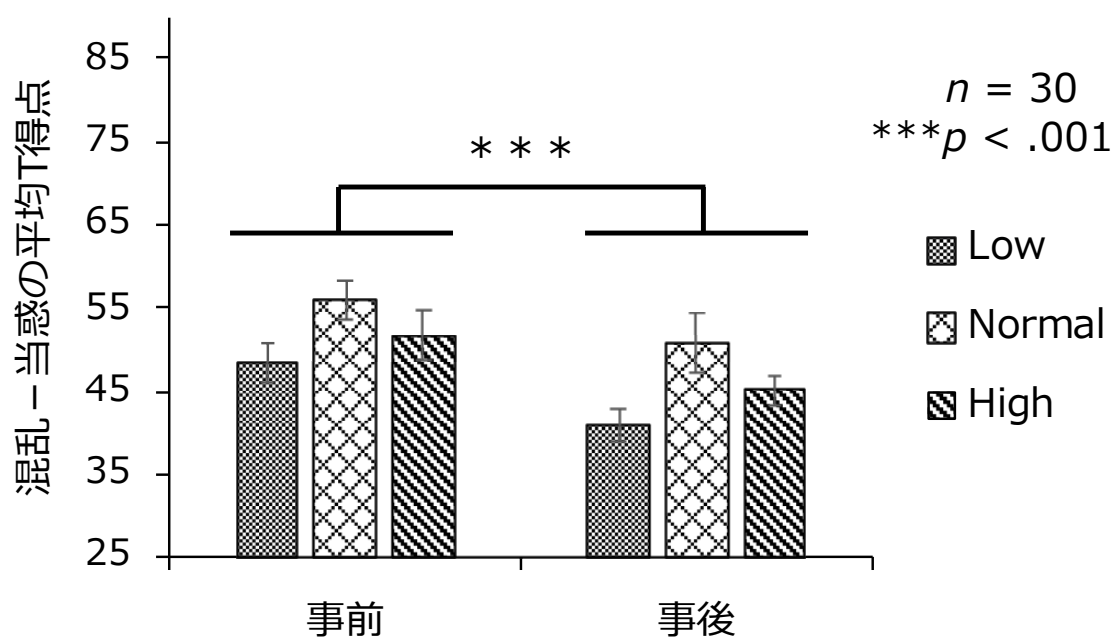


図 3.8 実験2 - 混乱－当惑の結果

3.2 実験2の結果

抑うつ－落込み

抑うつ－落込みについて、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が抑うつ－落込みに対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 11.2968, p = .0023, \eta^2 = .0481$) (図 3.9).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.4031, p = .6722, \eta^2 = .0034$).

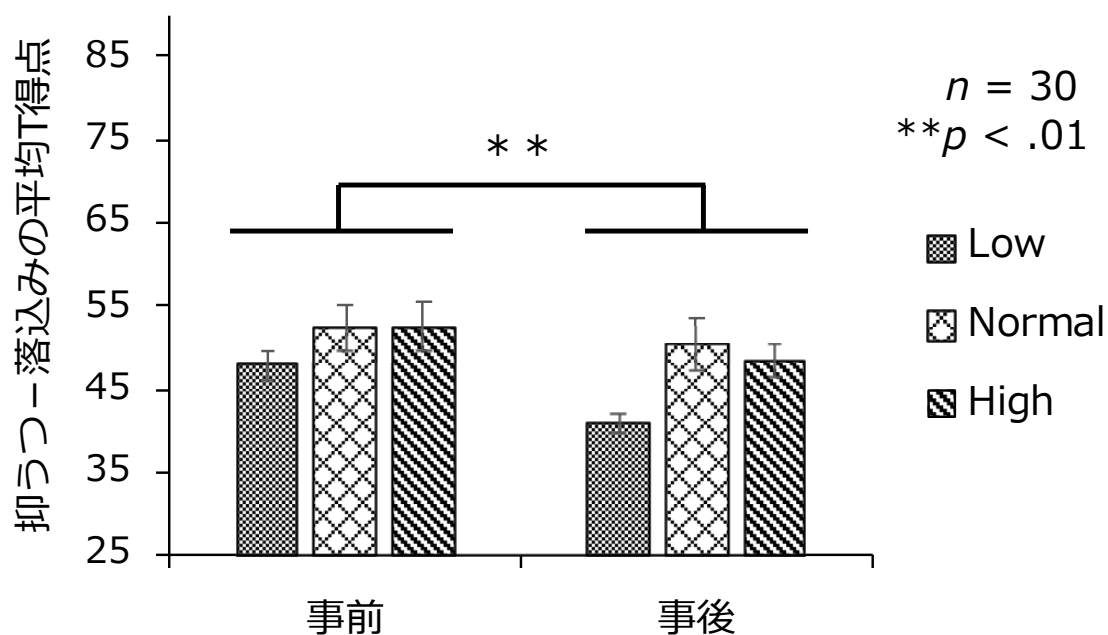


図 3.9 実験2 - 抑うつ－落込みの結果

3.2 実験2の結果

疲労－無気力

疲労－無気力について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 0.0546, p = .9469, \eta^2 = .0030$; $F(1, 27) = 0.0185, p = .8928, \eta^2 = .0002$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.0479, p = .9533, \eta^2 = .0009$) (図 3.10).

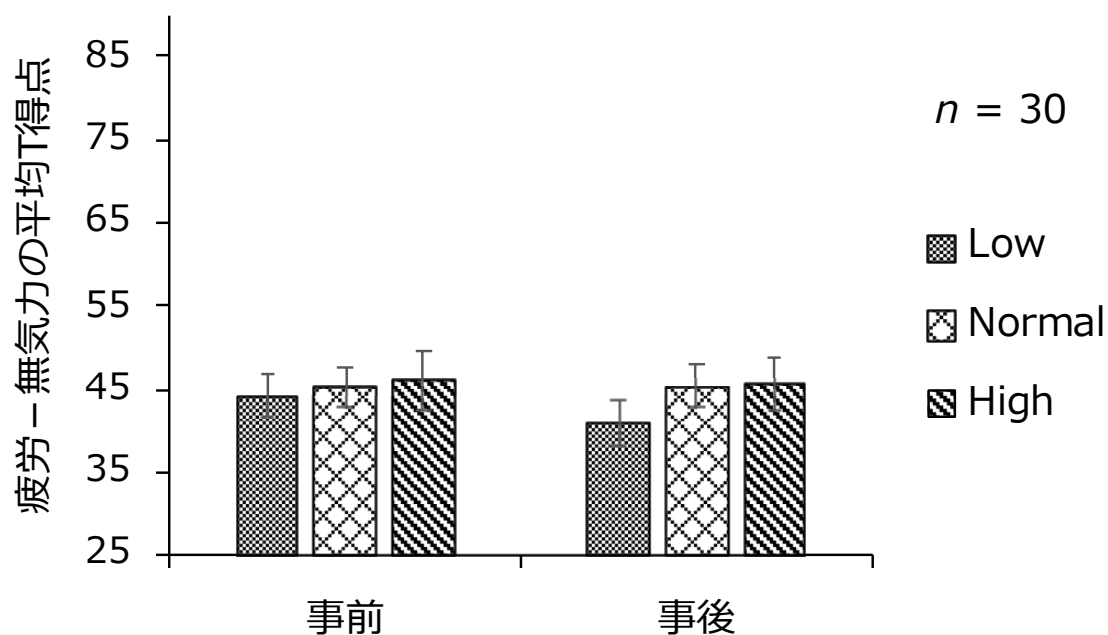


図 3.10 実験2 - 疲労－無気力の結果

3.2 実験2の結果

緊張－不安

緊張－不安について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が緊張－不安に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 25.1690, p < .0001, \eta^2 = .1114$) (図 3.11).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.1083, p = .8977, \eta^2 = .0010$).

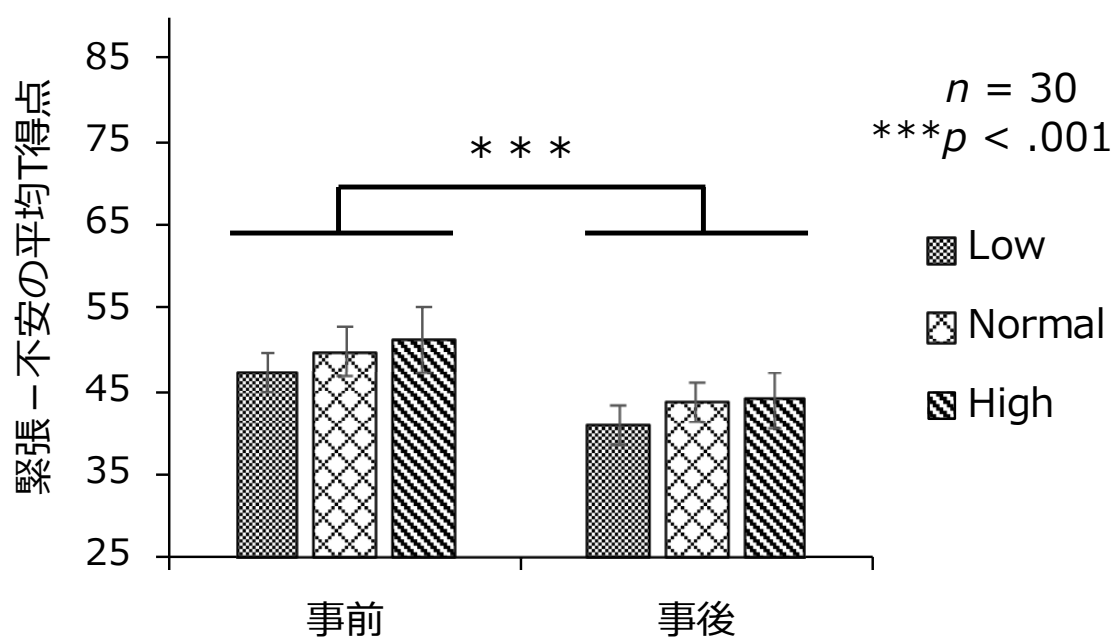


図 3.11 実験2 - 緊張－不安の結果

3.2 実験2の結果

活気－活力

活気－活力について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 1.7928, p = .1857, \eta^2 = .1010$; $F(1, 27) = 2.5942, p = .1189, \eta^2 = .0119$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.3353, p = .7180, \eta^2 = .0031$) (図 3.12).

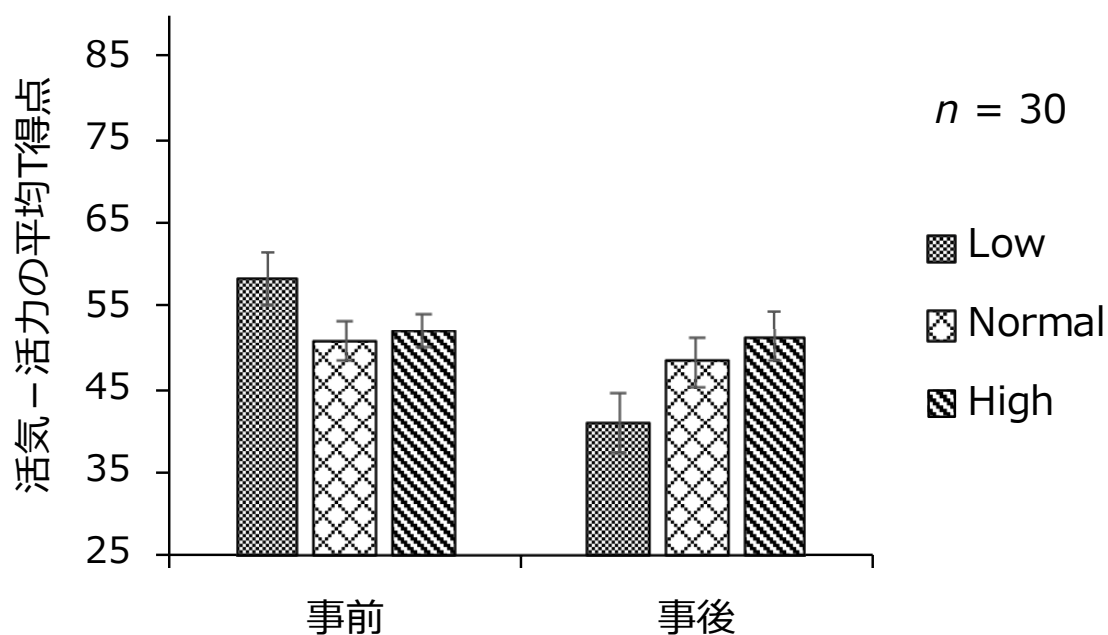


図 3.12 実験2 - 活気－活力の結果

3.2 実験2の結果

友好

友好について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、足の位置と計測タイミングのいずれにおいても有意な差は認められなかった ($F(2, 27) = 1.4581, p = .2504, \eta^2 = .0894$; $F(1, 27) = 0.3676, p = .5494, \eta^2 = .0010$).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.9272, p = .4079, \eta^2 = .0053$) (図 3.13).

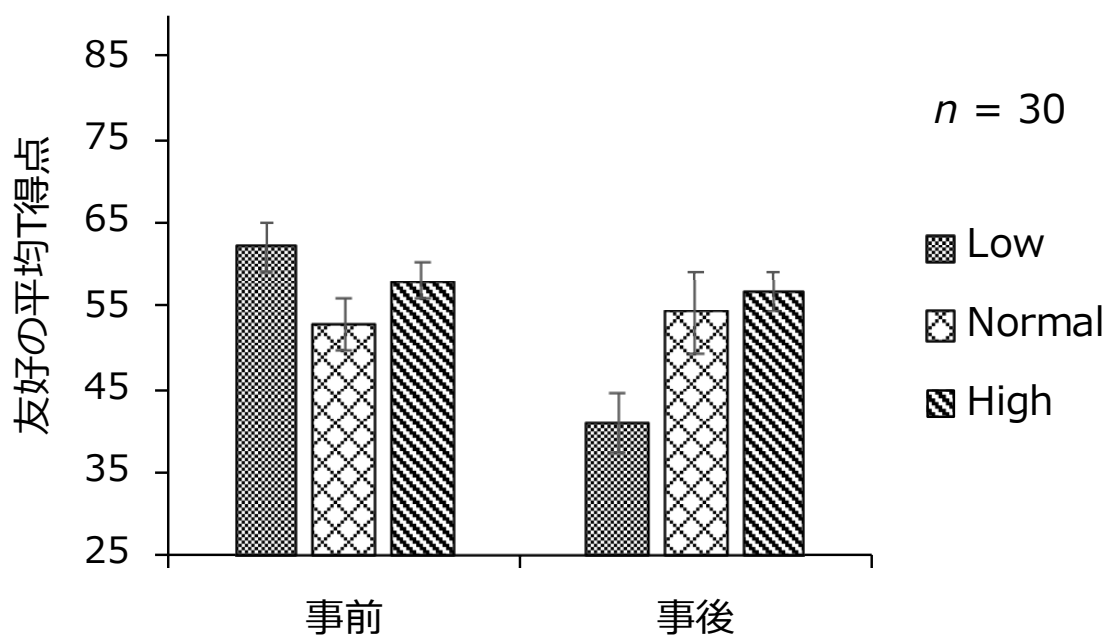


図 3.13 実験2 - 友好の結果

3.2 実験2の結果

TMD 得点

TMD 得点について、2 要因混合計画分散分析を行ったところ、事前よりも事後の方が TMD 得点に対する得点が有意に低いという結果が得られた ($F(1, 27) = 10.5064$, $p = .0032$, $\eta^2 = .0426$) (図 3.14).

また、足の位置及び計測タイミングの交互作用に有意な差は見られなかった ($F(2, 27) = 0.3679$, $p = .6956$, $\eta^2 = .0030$).

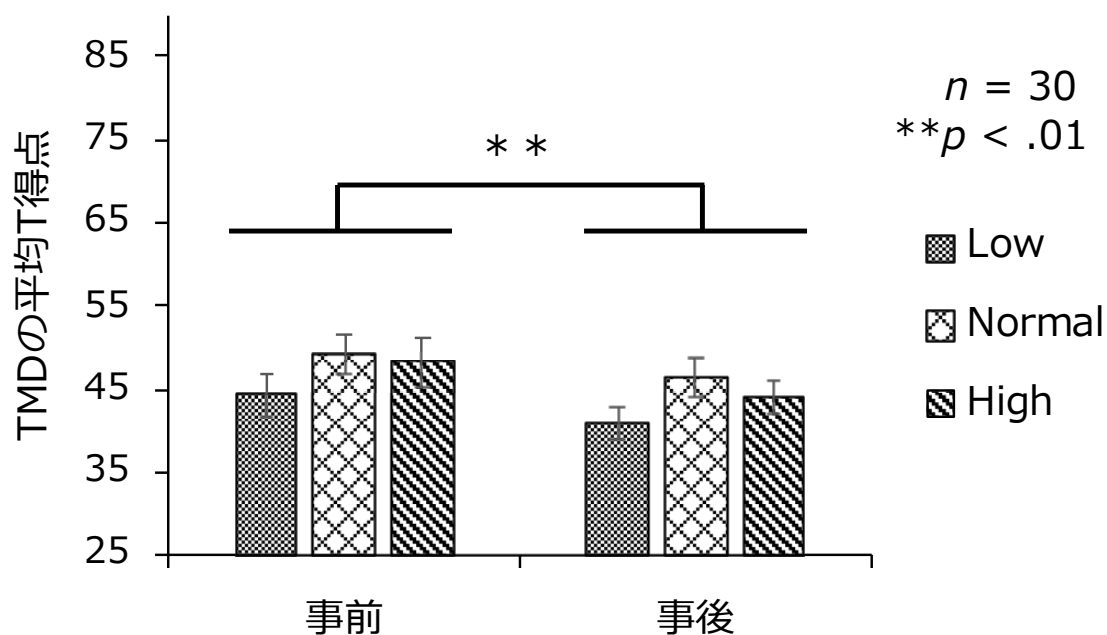


図 3.14 実験2 - TMD 得点の結果

3.3 実験2の考察

3.3.1 アバタの身体化

プロテウス効果において重要であるとされているアバタの身体化について、アンケートによる主観評価の結果、身体所有感、自己主体感、自己定位感の全てにおいて足の位置による差は見られなかった。この結果は実験1と同様であることから、運動習慣の有無に関わらず、視覚フィードバックを操作した場合においても通常時と同程度にアバタの身体化が生起することが示された。

3.3.2 動機づけ

トレーニングに対する動機づけのアンケートでは、条件間に有意な差は見られなかったが、全ての条件において中央値の「4. どちらともいえない」よりも有意に評価値が高いという結果が得られた。したがって、本研究においてエクサゲームのような課題として設定したトレーニング課題では、楽しみながら全身運動をすることが可能であることが示された。また、実験1の結果と同様に足の位置の条件による差がなかったことから、運動習慣の有無に関わらず、視覚フィードバックを操作した場合においても通常時と同程度に楽しんで運動をすることが可能であることが示された。

3.3.3 身体感覚及び運動出力

身体感覚の結果では、Low 条件においてのみ身体位置の出力が高くなることが示され、その効果は10分後も持続することが明らかとなった。この結果は、Low 条件を用いて全身運動の伴うトレーニングをすることで、足の身体感覚の位置が低くなり、身体位置の出力が高くなったことで生じたと考えられる。また、自己受容感覚により実際の身体位置を知覚することが可能であるにも関わらず、身体感覚の変容の効果が10分後も持続していたことから、足の身体感覚の位置を変容させるための有効な手法であることが示された。

3.3 実験2の考察

運動出力の結果では、Low 条件においてのみ運動出力量が高くなることが示されたが、その持続効果は見られなかった。また、実験終了後の実験に対するアンケート調査では、全ての参加者において実験の条件やアバタの身体が操作されていることを指摘しておらず、自己定位感が低い参加者においても視覚フィードバックが操作されていることに気がついていなかった。これらのことから、身体感覚の位置が低くなるような刺激を用いてトレーニングをすることで、無意識のうちに運動出力量を増加させ、運動を促進させることが期待できる。

しかし、10 分後の計測では身体感覚の変容が持続しているにも関わらず、運動出力量の増加は見られなかった。この原因として、トレーニング課題の運動強度が関わっていると推測される。運動強度 (%MHR, %HRmax) は運動時の心拍数を最大心拍数 (220 - 年齢) で割ることで求めることができる。そこで、実験で使用したトレーニング課題に対して Apple Watch Series6 を用いて心拍数の計測を行った。その結果、トレーニング課題の所要時間が 7 分 21 秒、平均心拍数が 101(最大 : 110, 最小 : 87) であり、運動強度は 51%であった。運動強度 51%はウォーミングアップ程度の低強度の運動であるとされている。また、運動強度の指標としての妥当性が示されている自覚的運動強度 [51] についても、年齢別の心拍数で定量化 [52] して運動強度を検討したところ、「かなり楽に感じる ~ 楽に感じる」であった。これらのことから、本研究で使用したトレーニング課題は低強度の運動であったことが明らかとなった。

先行研究では、高強度の運動が交感神経活動の活性化及び副交感神経活動の抑制に作用するが、低強度の運動では 10 分以内に運動前の値へと回復することを明らかにしている [53]。交感神経は活動的な生活をすることで活性化し、身体活動を高める効果がある [54] ことから、本実験においては低強度の運動により交感神経が運動前の値に戻ったため、運動出力量も元の値に戻ったのではないかと推測される。一方で、高強度の運動が交感神経活動の活性化及び副交感神経活動の抑制に作用するが、低強度の運動では副交感神経活動が上昇するといった結果も示されている [55]。したがって、運動出力量を持続的に増加させるためには、身体の知覚位置を変容させるだけでなく、交感神経系活動を活性化させる必要があると推測されるため、高強度の運動をすることが重要であると考えられる。

3.3 実験2の考察

3.3.4 気分状態

気分状態に関するアンケートでは、怒り－敵意，混乱－当惑，抑うつ－落込み，緊張－不安，TMD 得点において事前よりも事後の方が有意に低い数値を示していた．この結果は実験1と同様の結果であることから，運動習慣の有無にかかわらず，エクサゲームによるトレーニングは否定的感情の改善に効果があることが示された．

また，先行研究では，運動強度が中・高強度のランニングをした場合でのみ運動後の緊張が低下し，低強度のランニングでは運動後の緊張に変化が見られなかった [56]．しかし，本研究においては運動強度が低強度であるにも関わらず，運動後の緊張が有意に低下していた．その理由として，本研究で行ったトレーニングが楽しみながら運動のできるエクサゲームであることが関係していると推測される．トレーニングに対する動機づけの結果では，参加者がトレーニングを楽しんでいると感じていたことから，トレーニングによる緊張の効果が低減した可能性が示唆される．したがって，エクサゲームを用いた運動はその他の運動をする時に比べ，否定的感情を低減する効果があると考えられる．

第 4 章

総合考察

実験 1 と実験 2 の結果より，アバタの身体化，動機づけ，気分状態についてはそれぞれの結果に大きな違いは見られなかった．しかし，身体感覚及び運動出力については，実験 1 で足の位置の条件間に差が見られなかったが，実験 2 では足の位置の条件間に差が見られた．このことから，プロテウス効果を生じさせるために重要であるとされるアバタの身体化は運動習慣に関係なく生起しているにも関わらず，身体的効果については運動習慣のない者のみに生じることが明らかとなった．この結果は，“普段から身体をよく使う者は，身体の錯覚が生じにくい”という Ehrsson の主張 [48] を支持することを示している．

また，High 条件でも身体位置の視覚フィードバックを操作しているにも関わらず，身体感覚及び運動出力については Low 条件でのみトレーニングの影響が認められた．加えて，自己定位感についても，High 条件では Normal 条件とデータの分布に違いが見られず，Low 条件でのみ分散が大きい結果となった．以上のことから，Low 条件のような「足を上げているのに視覚的には上がっていない」といったネガティブな刺激が定位感や身体感覚に与える視覚フィードバックの影響が大きいと考えられる．

実験 2 の結果より，運動出力量を持続的に増加させるためには，身体の知覚位置を変容させるだけでなく，交感神経系活動を活性化させる必要があると考えられる．先行研究では，運動習慣がある者は運動習慣がない者に比べて交感神経活動が活性化しているという報告 [57] があることから，Low 条件を用いてトレーニングを持続的に行うことで身体的効果の持続が可能となり，日常生活における運動を促進できると考えられる．また，高強度の運動であれば交感神経活動が活性化やすく [55]，その効果の持続時間も低強度の運動に比べて長い [53] ことから，Low 条件を用いて高強度のエクサゲームをすることで，短期的に身体的

効果を生じさせる可能性も考えられる。また、本研究においてはトレーニングによる肯定的感情を増加は確認できなかったが、高強度の運動が肯定的感情の上昇に効果がある [50] ことから、否定的感情を低減だけでなく、肯定的感情の上昇も期待できる。

本研究では、トレーニング課題を行うことで足の身体感覚の位置が低く変容することが示され、運動出力にも影響を与える可能性が示された。しかし、身体的効果の持続効果は見られなかった。したがって、今後の展望として、交感神経活動を活性化させるトレーニングにより検討する必要がある。また、本研究では VR 空間での持続効果を検討したが、日常生活における運動を促進させるためには、HMD を外した現実空間における持続効果の検討する必要がある。

第 5 章

まとめ

本研究では、全身運動を伴うエクサゲームが身体感覚や運動出力に及ぼす影響やその持続特性について、足の身体位置の視覚フィードバックを操作することによって検討した。その結果、視覚フィードバックを操作した場合においても、通常の視覚フィードバック時と同様に運動に対する動機づけが可能であることが示され、エクサゲームを用いて運動をすることで、効果的に否定的感情を低減させることが示された。また、視覚フィードバックに関わらず、アバタの身体化は生起することが確認できたが、身体的効果は一部の条件でのみ生じる結果となった。特に、運動習慣がない者に対しては、Low 条件を用いてトレーニング課題を行うことで足の身体感覚の位置が低く変容することが示され、運動出力にも影響を与える可能性が示された。本研究により、楽しく運動をすることができるだけでなく、Low 条件を用いて運動することで効率よく運動をすることが可能であることが示された。

謝辞

本研究及び論文を進めるにあたり，ご指導ご鞭撻をいただいた繁樹博昭先生に深く感謝致します。お忙しい中，本論分の副査を勤めてくださった門田宏先生，任向實先生にも深く感謝致します。また実験を行うにあたり，貴重な時間を割いて快く参加者を引き受けて頂いた研究室のメンバー，同輩，後輩の皆様に心から感謝致します。

参考文献

- [1] 厚生労働省, “平成 30 年国民健康・栄養調査報告”, p.49.(2020)
- [2] Guthold, R., Stevens, G.A., Riley, L.M., & Bull, F.C., “Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants”, *Lancet Child Adolesc Health*, 4(1):23-35.(2020)
- [3] 笹川スポーツ財団, “子ども・青少年のスポーツライフ・データ 2019”, p.58.(2020)
- [4] スポーツ庁, “体力・運動能力調査報告書”, 文部科学省, p.16.(2020)
- [5] 石黒 千映子, 生田 美智子, 杉田 淳美, 岡田 武, 小笹 由里江, 沼田 葉子, 東野 督子, 三河内憲子, “地域住民への健康教育「健康増進のための運動療法」の実施とその効果”, *日本赤十字豊田看護大学紀要*, 7(1):107-119.(2012)
- [6] 谷代 一哉, “大学生の運動習慣の相違と気分プロフィール (POMS) の関連について”, *札幌大学総合論叢*, 35:89-100.(2013)
- [7] Pate, R.R., Pratt, M., Blair, S.N., Haskell, W.L., Macera, C.A., Bouchard, C., Bouchner, D., Ettinger, W., Heath, G.W., King, A.C. et al., “Physical activity and public health: recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine”, *JAMA The Journal of the American Medical Association*, 273(5):402-407.(1995)
- [8] Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M., “Considerations for the design of exergames”, *GRAPHITE*, pp.289–295.(2007)
- [9] Finkelstein, S.L., Nickel, A., Lipps, Z., & Barnes, T.M., “AstroJumper: Motivating Exercise with an Immersive Virtual Reality Exergame”, *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, 20(1):78-92.(2011)

参考文献

- [10] Lee, S., Kim, W., Park, T., & Peng, W., “The Psychological Effects of Playing Exergames: A Systematic Review”, *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 20(9):513-532.(2017)
- [11] Baranowski, T., “Exergaming: Hope for future physical activity? or blight on mankind?” *Journal of Sport and Health Science*, 6(1):44-46.(2017)
- [12] Schmidt, M., Benzing, V., & Kamer, M., “Classroom-Based Physical Activity Breaks and Children’s Attention: Cognitive Engagement Works!”, *Front Psychol*, 7:1474.(2016)
- [13] Stanmore, E., Stubbs, B., Vancampfort, D., Bruin, E.D., & Firth, J., “The effect of active video games on cognitive functioning in clinical and non-clinical populations: A meta-analysis of randomized controlled trials”, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 78:34-43.(2017)
- [14] 館, 佐藤 誠, 廣瀬 通孝, “バーチャルリアリティ学”, コロナ社, 2010.
- [15] 岩村 吉晃, “電子情報通信学会「知識ベース」 S3 群-2 編-3 章”, 電子情報通信学会, ver.1/2010.2.1, pp.1-10.(2010)
- [16] Gallagher, S., “Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science”, *Trends in Cognitive Science*, 4(1):14-21.(2000)
- [17] Tsakiris, M., & Haggard, P., “The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution”, *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance* 2005, 31(1):80-91.(2005)
- [18] Franck, N., Farrer, C., Georgieff, N., Marie-Cardine, M., Daléry, J., d’Amato, T., & Jeannerod, M., “Defective recognition of one’s own actions in patients with schizophrenia”, *The American Journal of Psychiatry*, 158(3):454-459.(2001)
- [19] Argelaguet, F., Hoyet, L., Trico, M., & Lecuyer, A., “The Role of Interaction in Virtual Embodiment: Effects of the Virtual Hand Representation”, *Proceedings of IEEE Virtual Reality(VR)*, pp.3-10.(2016)

参考文献

- [20] Aspell, J.E., Lenggenhager, B., & Blanke, O., “Keeping in Touch with One’s Self: Multisensory Mechanisms of Self-Consciousness”, *PLoS One*, 4(8):e6488.(2009)
- [21] Ehrsson, H.H., “The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences”, *Science*, 317(5841):1048.(2007)
- [22] Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., Blanke, O., “Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness”, *Science*, 317(5841):1096-1099.(2007)
- [23] Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M., “The sense of embodiment in virtual reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4):373-387.(2012)
- [24] Botvinick, M., & Cohen, J., “Rubber hands ’ feel ’ touch that eyes see”, *Nature*, 391(6669):756.(1998)
- [25] Ogawa, N., Ban, Y., Sakurai, S., & Narumi, T., “Metamorphosis Hand: Dynamically Transforming Hands”, *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, (51):1-2.(2016)
- [26] Yee, N., & Bailenson, J., “The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior”, *Human Communication Research*, 33(3):271-290.(2007)
- [27] 藤原 寿理, “化粧がもたらす自己の価値および社会行動における価値の変化 —行動学的検討”, *Cosmetology*, No.25, pp.170-175.(2017)
- [28] Adam, H., & Galinsky, A.D., “Enclothed cognition”, *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(4):918-925.(2012)
- [29] Lugrin, J.-L., Polyshev, I., Roth, D., Latoschik, M.E., “Avatar anthropomorphism and acrophobia”, *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology, VRST ’16*, pp.315–316.(2016)
- [30] 小柳 陽光, 鳴海 拓志, Jean-Luc.Lugrin, 安藤 英由樹, 大村 廉, “ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による 高所に対する恐怖の抑制”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 25(1):2-11.(2020)

- [31] Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M., “Drumming in Immersive Virtual Reality: The Body Shapes the Way We Play”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4):597-605.(2013)
- [32] 角田 賢太朗, 小川 奈美, 鳴海 拓志, 廣瀬 通孝, “筋肉質アバタを用いたプロテウス効果が重さ知覚に与える影響”, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2A2-2.(2020)
- [33] Banakou, D., Groten, R., & Slater, M., “Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes”, *Proc Natl Acad Sci(PNAS) USA*, 110(31):12846-12851.(2013)
- [34] Akashi, Y., & Shigemasu, H., “Effects of the form of self-avatar on behavior and mental state in VR environment”, Poster presented at: International Workshop on Human-Engaged Computing; January 10th, 2020.
- [35] Banakou, D., Kishore, S., & Slater, M., “Virtually Being Einstein Results in an Improvement in Cognitive Task Performance and a Decrease in Age Bias”, *Frontiers in Psychology*, 9(917).(2018)
- [36] Groom, V., Bailenson, J.N., & Nass C., “The influence of racial embodiment on racial bias in immersive virtual environments”, *Psychology Press*, pp.1-18.(2009)
- [37] Yee, N., Bailenson, J.N., & Ducheneaut, N., “The Proteus Effect Implications of Transformed Digital Self-Representation on Online and Offline Behavior”, *Communication Research*, 36(2):285-312.(2009)
- [38] 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会, “「健康日本 21(第二次)」中間評価報告書”, 厚生労働省, p.48.(2018)
- [39] Ito, R., Ogawa, N., Narumi, T., Hirose, M., “Do We Have to Look at the Mirror All the Time? Effect of Partial Visuomotor Feedback on Body Ownership of a Virtual Human Tail”, *ACM Symposium on Applied Perception 2019*, (8):1-9.(2019)

- [40] Borrego, A., Latorre, J., Alcañiz, M., & Llorens, R., “Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: Feasibility for Virtual Reality-Based Exploration, Navigation, Exergaming, and Rehabilitation”, *GAMES FOR HEALTH JOURNAL*, 7(3):151-156.(2018)
- [41] Gonzalez-Franco, M., Peck, N.C., “Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire”, *Frontiers in Robotics and AI*, 5:74.(2018)
- [42] 西村 多久磨, 河村 茂雄, 櫻井 茂男, “自律的な学習動機づけとメタ認知的方略が学業成績を予測するプロセス”, *教育心理学研究*, 59(1):77-87.(2011)
- [43] Elliot, A.J., & Harackiewicz, J.M., “Approach and avoidance achievement goals and intrinsic motivation: A mediational analysis”, *Journal of Personality and Social Psychology*, 70(3):461-475.(1996)
- [44] Wigfield, A., & Eccles, J.S., “Expectancy–Value Theory of Achievement Motivation”, *Contemporary Educational Psychology*, 25(1):68-81.(2000)
- [45] Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R.P., “Academic emotions in students’ self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research.”, *Educational Psychologist*, 37(2):91–105.(2002)
- [46] Juvia, P., Heuchert, Ph.D., Douglas, M., & McNair, Ph.D., 監訳：横山 和仁, 協力：渡邊 一久, “POMS2 (Profile of Mood States 2nd Edition) 日本語版”, 金子書房, 2015.
- [47] Won, A.S., Bailenson, J., Lee, J., & Lanier, J., “Homuncular Flexibility in Virtual Reality”, *Journal of Computer-Mediated Communication*, 20(3):241-259.(2015)
- [48] Yong, E., “Out-of-body experience:Master of illusion”, *NATURE*, 480(7376):168-170.(2011)
- [49] 蓑内 豊, “運動に対する主観的評価と感情変化の関係”, *大学体育学*, 6:13-22.(2009)

参考文献

- [50] Ewing, J.H., Scott, D.G., Mendez, A.A., & McBride, T.J., “Effects of Aerobic Exercise upon Affect and Cognition”, *Perceptual and Motor Skills*, 59(2):407–414.(1984)
- [51] 峯松 亮, 新明 理恵, “自覚的運動強度 (RPE) の妥当性の検討”, *理学療法学*, 35(2):778.(2008)
- [52] 厚生労働省, “運動基準・運動指針の改定に関する検討会報告書”, p.18.(2013)
- [53] 林 直亨, 中村 好男, 村岡 功, “一過性の運動中および運動後の自律神経系活動に及ぼす運動強度の影響”, *体力科学*, 44(2):279-286.(1995)
- [54] 齊藤 満, “健康・身体活動を支える交感神経の活動 -交感神経活動の直接観察からの洞察-”, *スポーツ健康科学研究*, 40:1-11.(2018)
- [55] 奥村 裕, 江口 輝行, 龜井 亮良, 高橋 秀典, “運動後の自律神経活動と心理的効果”, *保健医療学雑誌*, 8(1):44-49.(2017)
- [56] Farrell, P.A., Gustafson, A.B., Morgan, W.P., & Pert, C.B., “Enkephalins, catecholamines, and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise”, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4):347-53.(1987)
- [57] Nagai, N., Matsumoto, T., Kita, H., & Moritani, T., “Autonomic nervous system activity and the state and development of obesity in Japanese school children”, *Obesity Research*, 11(1):25-32.(2003)