



ユーザの筋運動に伴って変化するアバタの視覚的な筋肉量が身体性に与える影響の基礎調査

木村信人¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 野嶋琢也²⁾, 広田光一¹⁾

Nobuhito KIMURA, Sho SAKURAI, Takuya NOJIMA, Koichi HIROTA

1) 電気通信大学 情報理工学研究科 (〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {no.kimura, sho, hiroya}@vogue.is.uec.ac.jp)

2) 電気通信大学 情報理工学研究科 (〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, tnojima@nojilab.org)

概要: VR 空間でユーザの代替身体となるアバタは様々な外見 (容姿, 体格, 人体比率等) の獲得を可能にする. この時, ユーザと全く異なる外見のアバタ利用時にも身体所有感や運動主体感が生じることがわかっている. しかし, ユーザの運動量に対応してアバタの外見が変化していく場合の影響は未解明である. 本稿では, 筋肉量を例題に, ユーザの筋運動に伴ってアバタの外見が変化する時, 身体所有感や運動主体感, 筋運動に伴う心的傾向に影響が生じるかを調査した.

キーワード: 身体性, 自己身体認識, アバタ

1. はじめに

バーチャルな空間 (VR 空間) で我々の身体の代替となるアバタによって, 実空間におけるユーザの身体性に影響を与える現象は Virtual Embodiment と呼ばれている. ここでの身体性とは, 身体運動を通じて得られる感覚知覚, 認知, 行動を含む身体的経験を包括的に形容したものとす. ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 等を利用した一人称視点からの映像や, モーションキャプチャを利用してユーザの動作と同期してアバタに反映させることで, 時間的・空間的な情報の一貫性が保たれ, 容易に身体所有感 (身体の代替となる人工物をあたかも自分の身体として所有している感覚) や運動主体感 (何かものを動かすために自身がその運動を引き起こしている, または自身によって引き起こされているという感覚) といった感覚情報を得ることができる.

アバタの外見や特徴は自由に操作できるため, ユーザが利用している最中にリアルタイムに変化させることも可能である. 例えばユーザが利用しているアバタの外見が別の外見へと滑らかに変化することや, ユーザの行動に伴って刻々と変化するといったものが挙げられる. しかし, リアルタイムに外見が変化するアバタを利用して運動をしている最中, または運動後にユーザの身体性に影響が生じるかどうかの検証はまだ少ない.

本稿では, 筋肉量を例題に, ユーザの運動に伴ってアバタの外見がリアルタイムに変化する時, ユーザの身体性や心的傾向に与える影響を調査した. 特に, リアルタイムにアバタの外見が変化した際, それが自身の身体として認識されるか, および運動と外見の変化によって心的傾向に影響が生じるかに着目した. 具体的には, ユーザのダンベル運動の回数に伴ってアバタの見た目を徐々に筋肉質に変化させることによって視覚情報として運動の効果をリアル

タイムに付与し, 身体所有感および運動主体感, ダンベル運動によって得られる主観的な満足度や運動の効力の知覚に影響が生じるかを調査した.

2. 身体性とユーザの行動に伴って外見が変化するアバタの関連および運動効果付与の手法の提案

アバタがリアルタイムに変化することによって我々の身体性にどのような影響を与えるかを検証する中で, 本稿ではまず知覚や認知に及ぼす上で重要な身体所有感および運動主体感の生起について調査する. 両感覚が生じる要因からアバタの外見をどのように変化させるかを選定する. その後, 筋運動に伴ってアバタの外見を変化させることによって得られる, 期待される効果について記す.

2.1 身体所有感と運動主体感の生起要因

身体所有感が生じる要因として, ユーザが得る視覚情報と触覚情報の一致が挙げられる [1]. また, 視覚情報と自己受容感覚による情報または対象物とユーザの運動が同期している場合でも生起されることが示されている [2]. 運動主体感が生起される要因として, Forward model [3] による遠心性コピーと外界の相互作用から予測される情報と運動後の感覚器官からの刺激の一致が挙げられる. その他, 意図する動作とその結果として得られる視覚や体性感覚といった感覚からの刺激が一致することが挙げられる [4]. よって, ユーザの意図する行動と視覚や自己受容感覚に一貫性があり, また意図する動作とその動作に対して得られる感覚の結果を一致させることが挙げられる. これらより, アバタの見た目をリアルタイムに変化させる際, ユーザの身体性を大きく損なわないためには, ユーザの意図する動作と変容先の見た目およびその変化過程に一貫性を持たせる必要がある.

本稿では、ユーザの持つ意図と行動の結果の対応関係として、身体活動によって得られる筋肉量に着目した。一般的に等張筋収縮等による運動を遂行することで筋肉量が増えると予測できる一方、我々の体に筋肉がつくには数週間程度の時間がかかる [5]。本研究では、ユーザがダンベル運動を行い、それに伴ってアバタの見た目を筋肉質に変化させることで筋肉を疑似的にリアルタイムに視覚情報として付与する。これによって、筋運動によって自身の筋肉量が増えるという認識のもと、筋運動を実施したことでリアルタイムに視覚的に筋肉量が増える、という関係に一貫性があり、身体所有感と運動主体感は保たれると考える。

2.2 アバタの外見がユーザの心的傾向に与える影響

アバタの外見がユーザの心的傾向に影響を与えることが知られている。これはアバタの外見から、その見た目的一般認識や先入観から影響を受け自身もそのように振舞おうとするためと考えられている [6]。または、アバタの外見からユーザの記憶や感情が活性化され、関連する認識や先入観に基づいて考えや行動に影響を与えるとも考えられている [7]。例えば Kocur ら [8] は、筋肉質アバタを利用した際、重さ知覚における弁別域が低くなったことを報告した。Pena ら [9] は、黒い服を着ているアバタを利用した際、より攻撃的な思考が促進されたと同時に、親しみやすさに関する思考が抑制されたと報告している。このことから、ユーザの筋運動に伴ってアバタの見た目が筋肉質に変化することで、筋運動における筋肉の成長といった知見を活性化させ、筋運動によって自身の筋肉への効力や運動遂行による主観的な満足感や運動効力が得られると考える。

以上から本稿では、

- 仮説 1** アバタの外見が筋運動に伴って筋肉質に変化しても、身体所有感および運動主体感は低下しない。
- 仮説 2** 筋運動に伴ってアバタが筋肉質に変容することで、主観的な満足感が得られる。
- 仮説 3** 筋運動によって筋肉がつくという期待度が低い人ほど、変化するアバタ利用時の身体所有感は低くなる。
- 仮説 4** 変化するアバタを利用することで、主観的な運動の効果を知覚する。
- 仮説 5** 筋運動に伴って変化するアバタを利用することで、変化しないアバタと比較してアバタの身体になっていくという評価が高い。

と仮説を立てた。仮説5については、変容するアバタがユーザの筋運動に伴って変化することから、行動の過程を含めた身体所有感について評価しており、変化するアバタによる意図する動作とその結果の付与によって一貫性を保つことで身体性が担保されると考える。

3. 実験

ユーザの筋運動に伴って見た目が筋肉質に変化するアバタ（以下、変容アバタ）が、ユーザの身体所有感、運動主体感や主観的な運動効力の知覚に与える影響を調査するた



図 1: VR 空間でのダンベルカールシステム



図 2: 静的アバタと変容アバタ

めの実験を記す（なお、ユーザの筋運動に伴って見た目も変容しないアバタは静的アバタと包括する）。本検証では、筋運動をしている最中に自身の外見を観察できる内容として、ダンベルを持った状態で肘を曲げて上腕の筋肉を収縮させるダンベルカールを採用した。

3.1 実験環境

本稿の調査にあたり、静的アバタおよび変容アバタを用いて VR 空間内でダンベルカールをするシステムを構築した（図 1）。

本システム環境は、HMD（Oculus Quest 2, Oculus 社製）を通してユーザにアバタからの一人称視点の映像を表示し、モーションキャプチャ（Perception Neuron Pro, Noitom 社製）を用いてユーザの動作データを取得しアバタの動作に反映させた。アバタは 5 種類（図 2）用意し、うち 2 種類は静的アバタで基準となるアバタ（基準）と筋肉質な見た目のアバタ（筋肉質）を用意した。残りは変容アバタで、筋肉量の変化が回数に応じて一定量のもの（線形変容）、後半になるにつれ変化量が大きくなるもの（指数的変容）、そして前半に変化量が大きいもの（対数的変容）の 3 種類であ

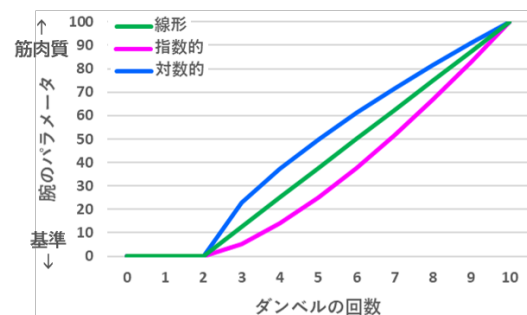


図 3: ダンベル運動の回数とパラメータの推移

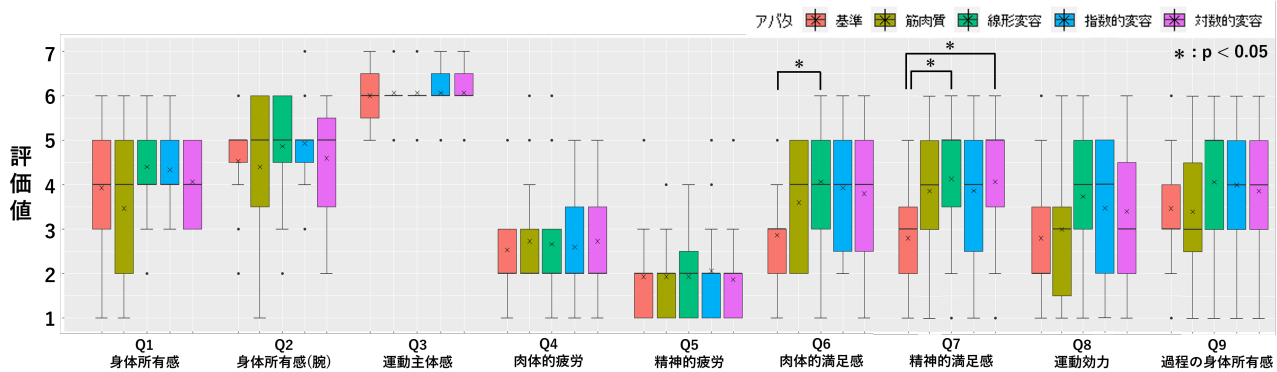


図 4: 評価項目および評価値

る。図 2 において、変容アバタの初期状態（1 回目）と終了状態（10 回目）は同じ見た目、その他 5 回目と 8 回目における見た目を表している。本実験では、各アバタでダンベルカールを右腕および左腕それぞれ 10 回ずつ行ってもらい、そのうち 2 回目から 10 回目にかけて変容アバタの腕の見た目を筋肉質に変化させた。各試行において、後半の方で疲労などが蓄積し、それによってユーザの労力と見た目の変化量を対応させるために指数的変容を導入し、その対比となる対数的変容は上記と逆の現象が起きた際にユーザに与える影響に差異があるかを確認するために導入した。変容アバタの見た目の変化方法は、モーフィングを利用した。ダンベル運動の回数と変容アバタの見た目をパラメータによって操作した。各変容アバタのダンベル運動の回数とパラメータの推移を図 3 に示す。回数に応じてパラメータが更新され、それに伴って変容アバタの各腕の見た目が筋肉質に変化する。

3.2 実験方法および手順

本実験の被験者は、事前に本学の倫理審査に基づいて実験内容に同意を得た男性 15 人（平均 22.7 ± 1.95 歳）である。実験開始時には、HMD をかぶって VR 空間内でダンベル運動を実施してもらおうと伝えた。アバタの違いによってダンベルカール遂行における身体性や心的傾向に与える結果にバイアスが掛かることを避けるため、アバタの種類やダンベルカールのセット数や回数は告知しなかった。順序効果を考慮し、利用するアバタの順序は初めのアバタを均等に分け、その後使用するアバタの順序はすべてランダムとした。ダンベルカールを右腕および左腕で 10 回ずつ、それぞれアバタ 5 種類に対して実施するため、筋肉疲労を考慮し使用するダンベルの重さは $1[\text{kg}]$ とした。

被験者は HMD とモーションキャプチャを装着し、実験者がアバタを設定した後ダンベルを被験者の右手に渡し、そしてダンベルカールを実施した。10 回ダンベルカールを実施すると、画面上に終了のお知らせを表示し、左手にダンベルをうつすよう指示した。その後左腕に対してダンベルカールを 10 回実施した後、実験者がダンベルを回収し、リモコン（Oculus Touch, Oculus 社製）を被験者に渡して VR 空間内でアンケートに回答してもらった。これを 5 種類のアバタすべてに対して実施し、アバタを変更する際は画面上

を暗くした。アンケートは、図 4 に示す 9 項目について、7 段階リッカート尺度（1:全く感じない、4:どちらでもない、7:非常に感じる）で回答してもらった。

実験終了後は、各被験者の筋運動によって自身にどの程度筋肉がつくか、および筋肉がつくまでどの程度継続し続けるかの認識を 7 段階リッカート尺度で回答してもらい、そして実験中のアバタに関して気づいた点や感想を自由記述で回答してもらった。

3.3 実験結果

各項目の評価値の結果を図 4 に示す。結果は箱ひげ図で示しており、太線が中央値、×印は平均値、箱の上下が第 1 および第 3 四分位点、上下線が最小・最大値を表している。

まず、評価値が正規性を持つかをシャピロ-ウィルク検定を用いて分析した結果、全ての項目において正規性を持たないことが確認された ($p < 0.001$)。

アバタの種類を要因として、図 4 に示す各項目の評価値についてフリードマン検定をした結果、Q6 の肉体的満足感 ($\chi^2 = 15.92, p < 0.01$) および Q7 の精神的満足感 ($\chi^2 = 21.86, p < 0.001$) においてアバタを要因とする主効果が有意であった。続いて、ホルム補正をしたウィルコクソンの符号順位検定による多重比較の結果、Q6 は基準-線形変容間、Q7 は基準-線形変容間および基準-対数的変容間において有意差が見られた ($p < 0.05$)。

3.4 考察

3.4.1 変容アバタの差異の認識

本実験では変容アバタを 3 種類用意し、アバタに関して気づいた点において変化したことを記述した被験者は 15 人中 10 人いた。一方で、3 種類の変容パターンの違いを記述した被験者がいなかったことから、線形、指数的および対数的変容による違いを認識していなかったことが示唆される。この場合、各試行において後半になるにつれて筋肉の変化量が大きくなるという意図の指数的変容が意味をなさない。また、5 試行中 3 試行で見た目が変化したことに気付いている場合、変容アバタのみ 3 試行分実施したとみなされ、それが評価結果に影響を生じさせた可能性も考えられる。従って、変容アバタを複数用意する場合は、それらの差異が認知できるように実験を設計するか、1 種類のみ導入して検証する必要がある。

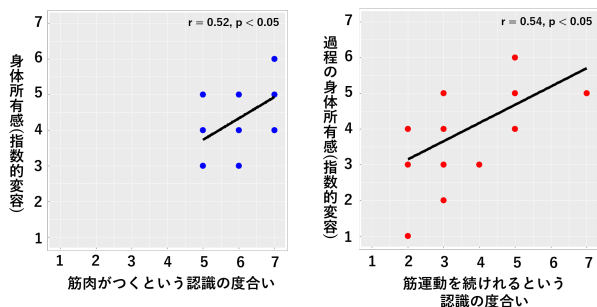


図 5: 身体所有感とユーザの筋肉付与と筋運動継続の認識

3.4.2 変容アバタによる満足感付与の可能性

Q6 および Q7 の結果から、基準-線形変容アバタ間で主観的な満足度の評価結果に有意差が見られた。一方で、線形変容アバタの Q6 と Q7 の評価値の平均はそれぞれ 4.07 ± 1.48 , 4.13 ± 1.41 であったため、高い満足感を得られたとは言えず、仮説 2 は支持しない。本実験におけるダンベルの重さが軽かったことや、回数が少ないという自由記述があったことから、被験者がより筋運動を実施したときに筋肉質に変化させることが必要である。Q8 に関しても同様のことが言え、見た目が変わると満足感はあるが効力は感じないといった報告があったため仮説 4 は支持しない。従って、筋運動に伴って変化させる時、筋運動自体に多くの労力を要する場合での影響について調査する必要がある。

3.4.3 変容アバタとユーザの認識が身体性に与える影響

Q1 から Q3 の結果から、変容アバタと静的アバタとの評価結果に有意差は見られず、大きく身体性を損なうとは言えなかったため、仮説 1 は概ね支持する結果が得られた。図 5 左より、筋肉がつくという認識と指数的変容アバタにおける身体所有感の評価結果に正の相関が見られた ($r = 0.52, p < 0.05$)。しかしながら、筋肉がつくという認識の結果として全被験者が少なくともつく認識しているため、認識が低い場合の結果が未解明であるため仮説 3 は支持するとは言えない。

一方で図 5 右より、指数的変容アバタにおける過程を含めた身体所有感について、被験者が筋運動を続けられるという認識と正の相関が見られた ($r = 0.54, p < 0.05$)。MacCabe ら [10] は、動作の結果として得られる視覚情報と体性感覚が不一致であった場合、不快感を伴う傾向にあることを報告している。本実験における変容アバタも、筋肉がつくまで筋運動を続けられるという認識が低い場合、普段は筋運動によって筋肉がつかないにもかかわらず、視覚情報としては筋肉がついたことで過程における身体所有感は損なう傾向にあることが示唆される。このことから変容アバタにおいて、ユーザの知識や認識の情報と変化中および変化後の見た目による視覚情報を一致させることが必要である。

4. おわりに

本稿では、筋肉量を例題に、ユーザのダンベル運動に伴って外見が筋肉質に変化するアバタが、身体所有感や運動主体感、ダンベル運動で得る主観的な満足感や運動効力に影響を与えるか調査した。実験の結果、静的アバタと比較して変容アバタは両感覚は担保しつつ、主観的な満足感の評価が向上したことが示された。一方で、本実験にお

る筋運動の負荷が小さかったため、高い満足度を得られたとは言えない結果であった。また、ユーザの筋運動に対する認識が筋肉質に変容した際の視覚情報と一致しない場合は、身体所有感を損なう傾向にあった。

今後は、負荷のかかる筋運動を導入、またはユーザの労力に応じて見た目を変化させるような実験での検証が必要である。また、本稿では運動の結果や効果の認識と変化後の見た目の情報に一貫性を持たせたが、これが満たさない場合の影響も調査が必要である。例えば、年齢による見た目若返っていくといった変化パターンが挙げられる。これらの検証を通して、変容アバタの適切な変容パターンや効果の生起条件の解明を目指す。

謝辞本研究は科研費 JSPS 科研費 JP19H04230 の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] M. Botvinick and J. Cohen. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 1998.
- [2] Maria V., B. Spanlang, A. Frisoli, M. Bergamasco, and M. Slater. Virtual Hand Illusion Induced by Visuomotor Correlations. *PLOS ONE*, Vol. 5, No. 4, p. e10381, 2010.
- [3] R. Miall and D. Wolpert. Forward models for physiological motor control. *Neural Netw*, Vol. 9, No. 8, pp. 1265–1279, 1996.
- [4] M. Jeannerod. The mechanism of self-recognition in humans. *BEHAV BRAIN RES*, Vol. 142, No. 1-2, pp. 1–15, 2003.
- [5] T. Abe, D. DeHoyos, M. Pollock, and L. Garzarella. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *EUR J A PHY*, Vol. 81, No. 3, pp. 174–180, 2000.
- [6] N. Yee and J. Bailenson. The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Hum Commun Res*, Vol. 33, No. 3, pp. 271–290, 2007.
- [7] J. Peña, J. Hancock, and N. Merola. The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Commun. Res*, Vol. 36, No. 6, pp. 838–856, 2009.
- [8] M. Kocur, M. Kloss, V. Schwind, C. Wolff, and N. Henze. Flexing Muscles in Virtual Reality: Effects of Avatars' Muscular Appearance on Physical Performance. *CHI PLAY '20*, pp. 193–205, 2020.
- [9] J. Peña. Integrating the Influence of Perceiving and Operating Avatars Under the Automaticity Model of Priming Effects. *Commun Theory*, Vol. 21, No. 2, pp. 150–168, 2011.
- [10] C. McCabe, R. Haigh, and D. Halligan, P. and Blake. Simulating sensory-motor incongruence in healthy volunteers: implications for a cortical model of pain. *Rheumatology*, Vol. 44, No. 4, pp. 509–516, 2005.