

筋運動は順逆両位相の伸縮イメージと適合する A direction-specific elastic legs illusion is bi-adaptive for both stretched and contracted body-images.

岡田 莞助[†], 小鷹 研理[‡]
Kansuke Okada, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学芸術工学研究科
Graduate School of Design and Architecture, Nagoya-City University
kenrikodaka@gmail.com

概要

筆者の研究グループは、これまで展示会のレベルで、脚への筋肉負荷において、筋運動の方向とは異なる方向へと脚が伸びる映像を HMD 環境にて呈示することで、脚の伸縮感覚が誘発されるという知見を得ていた。本研究では、あらためて被験者実験を行い、特定の筋運動に対して、収縮あるいは伸張という順逆いずれの位相の視覚イメージを適用しても等しく伸縮感覚が誘導されるという結果を得たので、これを報告する。

Keywords: body transform illusion, full-body illusion, elastic legs illusion;

1. はじめに

物理空間と仮想空間の両者にまたがって複数感覚に同期刺激を与えることで、仮想空間内の身体やアバターに体験者の身体所有感が投射されることはよく知られている (Full Body Illusion)。このとき、所有感の変調は、所有された身体のサイズ感をも引き込んで変調することが報告されている。例えば、自分とはサイズの異なるアバターに対して視覚同期刺激を与えると、自分自身の身体サイズ感がアバターと同化する方向で変形する[1][2]。このサイズ感の変調は、実際に外部空間のスケールを縮小/拡大させるとともに[1][2]、身体サイズに紐づけられた種々の自己イメージ (例えば、身体満足度の変調[1]) にまで作用する。さらに、特殊な鏡を使って手のサイズを拡大・縮小して呈示した2つの報告[1][2]では、サイズ感の大小に対応するかたちで主観的な痛みが増減することが紹介されている。さらに、CRPS (複合性局所疼痛症候群) [2]の患者に対して指の主観的なサイズをリアルタイムに伸縮させるシステム[2]を用いた場合、伸張・収縮ともに痛みの感覚を低減する効果が確認されている[2]。こうした報告は、身体像を伸縮させることが身体マップの再組織化を促進する可能性を示しており、身体像伸縮の機序を様々な身体部位で明らかにしていくことは、神経可塑性の見地からも非常に有用な題材を提供するものと期待される。

我々は、以上の見地から、HMD を用いて腕や脚の伸

縮する感覚を誘発する研究を継続的に行ってきた[1][2][2]。2019年に発表した「Elastic Legs Illusion (以下、ELI)」[2]では、特に脚が伸縮するような錯覚を誘発させることを試みている。図1に示すように、体験者は長座体前屈の姿勢をとり、両足の裏にあてがったスタンドを、ゴムチューブを介して手で引っ張ることで、腕と脚にそれぞれ互いが相反する方向の力を発生させる。ゴムを引く力の大きさは、足とスタンドの間にかませた体重計によって計測されており、この力が大きくなるほど、仮想空間にCGで表現された自分の脚が伸びていく (muscle tension-elastication correlation)。特に興味深いのは、ここで現実の脚に力が加えられる方向は、脚が収縮する方向であるにも関わらず、それとは逆に脚が伸張する錯覚が引き起こされている点である (展示のデモにおいて、75%以上の体験者が、実際に錯覚を強く感じている)。身体に対し外的な圧力が発生するとき、逆方向に筋肉の内的な補償作用が働く (伸張反射) という生理学的知見[2]を踏まえると、ELIにおいて、伸張する脚のイメージに同期しているのは、外力 (収縮) ではなく、内的な補償作用 (伸張) の方であるという解釈が成立する。この解釈を拡大すると、特定の筋運動に対して、順逆いずれの位相の視覚イメージを適用しても、等しく伸縮感覚が誘導されることも考えられる。すなわち、現実空間における「脚を突っ張る」という運

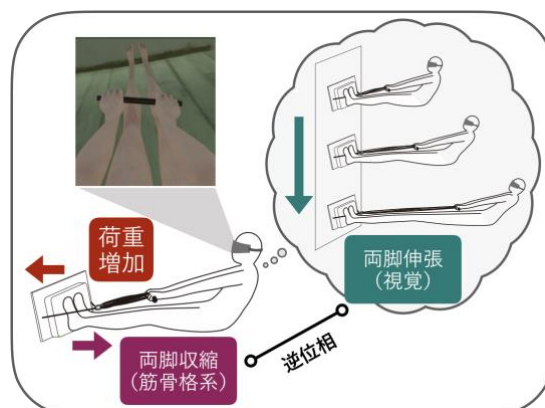


図1 Elastic Legs Illusion の機構

動は、仮想空間における「脚が伸びる映像」と「脚が縮む映像」のどちらとも同期して錯覚を誘発しうる。本研究は、ここで挙げた仮説を、被験者実験によって具体的に検証することが目的である。

2. 実験

2.1. 手順

実験では「Elastic Legs Illusion」にて構築されたシステムを利用し、被験者がゴムを引っ張る運動姿勢として、体ごと後ろに倒れこむように引く引き方 (Lean Back) か、ゴムを体へと手繰り寄せるように引く引き方 (Lean Forward) の二種類の姿勢を使用する。さらに、ゴムを強く引くほど、HMD を通して、仮想空間で脚が縮む (Contraction to Contraction, 以下 CC) 映像か、脚が伸び

像が提示される。CE は、脚が通常長さから 2 倍の長さまで伸びていく (伸縮変換率: 1 to 2) もので、従来の「Elastic Legs Illusion」のシステムにて、既に展示会のアンケートにおいて個人差の少ない錯覚誘発を確認している。このような、脚に加えられる力の方向とは逆方向に脚が伸縮するインタラクションを本研究では「逆位相型」の変換と定義し、筋運動と同方向に伸縮するものを「順位相型」と定義する。CE に対して CC は、今回の実験で新たに追加した順位相型の変換であり、2 倍に伸びた長さから平常時の長さへと戻っていく映像 (伸縮変換率: 2 to 1, 以下 CC1) と、平常時の長さから 1/2 に縮む映像 (伸縮変換率: 1 to 1/2, 以下 CC2) の 2 つのパターンを用意する。

以上の「伸縮変換率 (3)」x「運動姿勢 (2)」による合計 6 種類の条件からなる課題を、それぞれ 2 回ずつ行

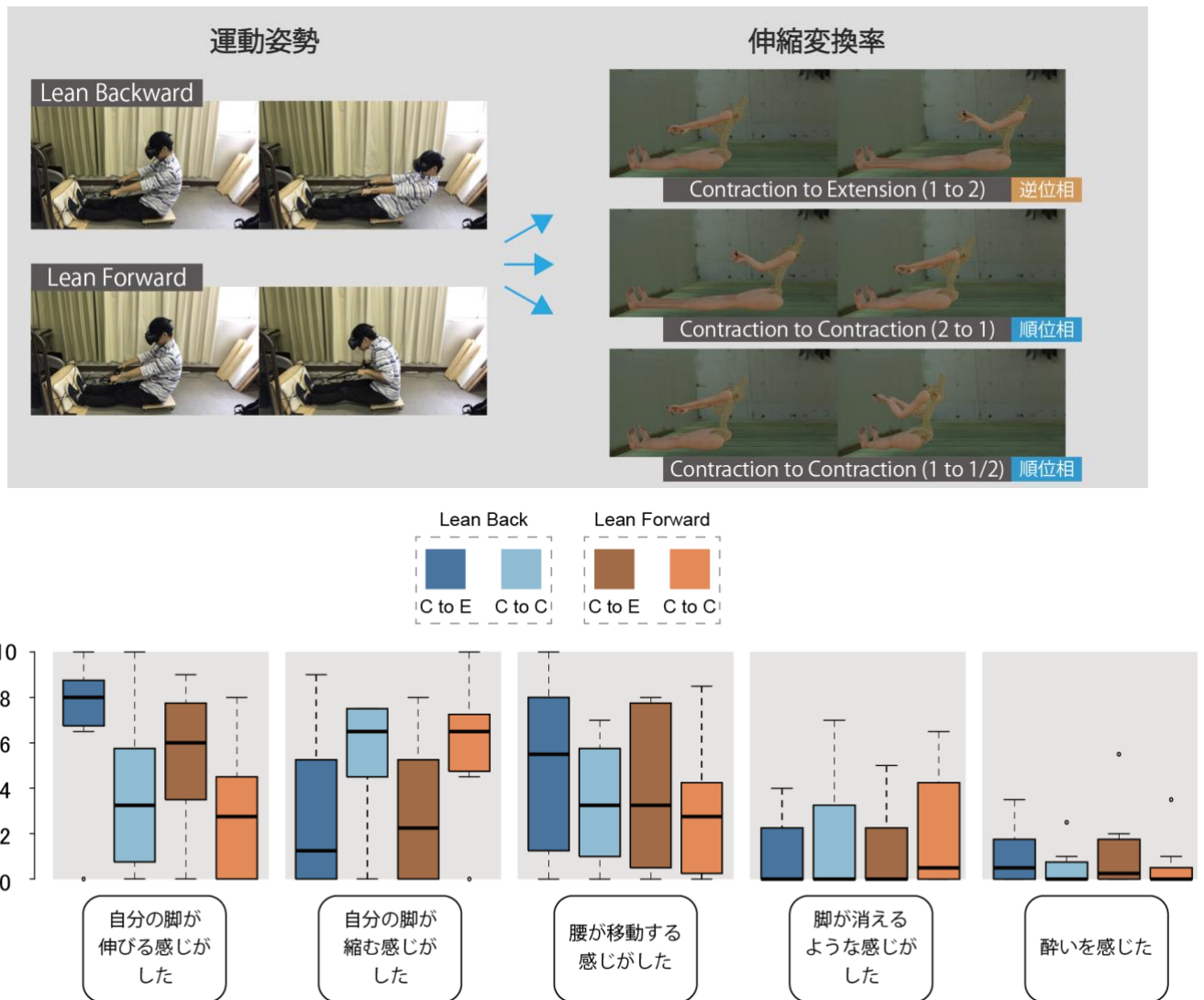


図2 実験のセットアップ (上) と実験結果 (下)

る (Contraction to Extension, 以下 CE) のいずれかの映像を見た。各課題においては、自由に伸縮体験をしてもら

う時間を 40 秒間与え、それぞれの体験後に、0 (全く感じない) ~10 (大変強く感じた) の 11 段階で、「自分の脚が伸びる感じがした」「自分の脚が縮む感じがした」「自分の脚が消える感じがした」「酔った」の 5 項目について、紙面にて評価させた。実験には 8 人の学生が参加した

2.2. 結果

図 2 下に実験結果 (N=8) を示す。なお、実験の分析に先立って、3 種類の「伸縮変換率」のうち、CC1 および CC2 の効果を、対応のある t 検定で比較したところ、いずれの姿勢、質問項目についても CC1 と CC2 で有意な差は見られなかった。そのため、この 2 種類の CC の結果については、どちらか評価の高い方を実測値として採用して、条件は CE と CC の 2 種類とした。

こうして得られた値について、姿勢・伸縮変換・質問項目の三つの要因に関して被験者内分散分析を行ったところ、質問項目に関する主効果が得られた ($F(4,28)=13.74, p<0.001$) が、姿勢と伸縮変換率に関する主効果は得られなかった。また、質問項目と伸縮変換の交互作用が有意であったため ($F(4,28)=5.49, p<0.01$)、単純主効果検定を行ったところ、いずれの伸縮変換率においても質問項目の単純主効果が有意であった ($p<0.001$)。また、質問項目のうち「自分の脚が伸びる感じがした」と「自分の脚が縮む感じがした」の 2 項目においてのみ伸縮変換の単純主効果が見られた ($p<0.01$)。さらに多重比較を行った結果、伸縮に関する 2 つの質問項目と、腰の移動感が、他の二つの要因と比較して有意に高い評価を得た。これにより、本システムの有する伸縮感覚への効果が示されたとともに、この伸縮感覚の成立に「腰の前後の移動感覚」が寄与している可能性が示された。

3. 考察

CE (逆位相) は、「ゴムを強く引くほど脚が伸びる」という変換であり、CC (順位相) はその逆に「ゴムを強く引くほど脚が縮む」変換である。実験結果のグラフを見ると、CE については「脚が縮む感じ」よりも「脚が伸びる感じ」が強く評価され、CC のときは「脚が縮む感じ」がより強く評価されている、という当然の結果が得られた一方で、CE の「脚が伸びる感じ」の強度と CC の「脚が縮む感じ」の強度とを見比べると、同程度に強い伸縮感覚の評価が得られていることがわかる。この結果は、先に示した「特定の筋運動に対して、順逆い

れの位相の視覚イメージを適用しても、等しく伸縮感覚が誘導される」の仮説を支持するものである。

しかし必ずしも、CE の「縮む感じ」が弱く、CC の「伸びる感じ」が弱かったと結論付けられるわけではないことを強調しておかなければならない。どちらについても強度 10 と回答した被験者は見られたし、根本的に「伸びる感じ」と「縮む感じ」は同一の基準で比較できるものではないからだ。今後は、より総合的に伸縮感覚を評価できる実験系を構築する必要があるだろう。

本システムにおいて CG の脚が伸縮するとき、仮想空間において、足先の座標は固定されたまま、腰から上が視点とともに前後に移動することで伸縮を表現している。Lean Back の姿勢かつ逆位相の伸縮のとき、体を後方に倒す (= ゴムを引く) ほど仮想空間での視点は後ろに移動し、体を前に戻すと視点は前方に移動する。このとき、現実空間と仮想空間での視点の移動方向が一致しているといえる。しかし順位相の伸縮のときは、体を後方に倒すほど視点が前に移動する。そのような、現実空間と仮想空間での視点移動の一致・不一致がもたらす影響を考慮して、今回の実験で新たに Lean Forward の姿勢は追加された。直感に従うと、視点の移動方向は一致している方がより強い伸縮感覚を得られるのではないかと推測される。しかし、本実験において姿勢に関する主効果は得られず、ふたつの姿勢の間で伸縮感覚の強度に差がないという結果が得られた。この結果は、視点の移動方向や上半身の運動形態が必ずしも伸縮感覚に強く寄与していないことを示唆するものである。

全体としては以上のような傾向が見られた一方で、個人レベルでは大きな偏りが確認されている。例えば「自分の脚が伸びる感じがした」について強度 0 と回答した被験者は、腰の移動感以外のすべての質問項目について 0 の強度しか示さず、腰の移動感についても 0-2 程度のわずかな錯覚しか感じなかった。このように消極的な反応を示す被験者は極めて例外的なものなのか、もしくは一定の割合で見られるものなのか、現在の実験結果からは判断することができなかったため、より多くのデータを収集することが課題である。

文献

- [1] van der Hoort, B., Guterstam, A., Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: the size of one's own body determines the perceived size of the world. *PloS One*, 6(5), e20195.
- [2] Normand, J. M., Giannopoulos, E., Spanlang, B., Slater, M. (2011). Multisensory stimulation can induce an illusion of larger

- belly size in immersive virtual reality. *PLoS ONE*, 6(1).
- [3] van der Hoort, B., Ehrsson, H. H. (2014). Body ownership affects visual perception of object size by rescaling the visual representation of external space. *Attention, Perception, and Psychophysics*.
- [4] Van Der Hoort, B., Ehrsson, H. H. (2016). Illusions of having small or large invisible bodies influence visual perception of object size. *Scientific Reports*.
- [5] Preston, C., Ehrsson, H. H. (2014). Illusory changes in body size modulate body satisfaction in a way that is related to non-clinical eating disorder psychopathology. *PloS One*, 9(1)
- [6] Moseley, G. L., Parsons, T. J., Spence, C. (2008). Visual distortion of a limb modulates the pain and swelling evoked by movement. *Current Biology : CB*, 18(22), R1047-8.
- [7] Ramachandran, V. S., Brang, D., McGeoch, P. D. (2009). Size reduction using Mirror Visual Feedback (MVF) reduces phantom pain. *Neurocase*, 15(5), 357-60.
- [8] Lewis, J. S., Kersten, P., McCabe, C. S., McPherson, K. M., Blake, D. R. (2007). Body perception disturbance: a contribution to pain in complex regional pain syndrome (CRPS). *Pain*, 133(1-3), 111-9.
- [9] Newport, R., Auty, K., Carey, M., Greenfield, K., Howard, E. M., Ratcliffe, N., ... Themelis, K. (2015). Give It a Tug and Feel It Grow: Extending Body Perception Through the Universal Nature of Illusory Finger Stretching. *I-Perception*, 6(5)
- [10] Preston, C., Newport, R. (2011). Analgesic effects of multisensory illusions in osteoarthritis. *Rheumatology (Oxford, England)*, 50(12), 2314-5.
- [11] 小鷹研理：「筋運動誘導型 Elastic Limb(s) Illusion に関する研究の展望」、日本人工知能学会第 33 回大会, 2019.6
- [12] 曾我部愛子, 森光洋, 小鷹研理：ぶら下がりによる自重変化を利用した腕が伸縮する感覚の誘発, 第 20 回情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2016, 2016.3
- [13] Kodaka, K., Mori, K. (2017). Stretch(m) makes your arms elastic. In *SIGGRAPH Asia 2017 VR Showcase*, SA 2017.
- [14] 安楽大輝, 森光洋, 小鷹研理：Elastic Legs Illusion — 脚を長く伸ばす体操, 第 23 回情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2019, 2019.3
- [15] 伊藤宏司：筋運動制御機構, 計測と制御, Vol.25, No.2