



バーチャル共有身体での手位置追跡課題における 心拍同期の研究

Investigating heart rate synchronization during a target tracking hand task using a virtually co-embodied avatar

Rorek CEDILLO¹⁾, Harin HAPUARACHCHI¹⁾, 北崎 充晃¹⁾
Rorek CEDILLO, Harin HAPUARACHCHI, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学大学院 工学系研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
(d213375@edu.tut.ac.jp, harinmanujaya@gmail.com, mich@tut.jp)

概要: バーチャルリアリティ空間での手位置追跡課題において、一つのアバターを制御している二人の参加者の心拍同期および追跡課題の精度、身体所有感、行為主体感を調べた。アバターは、各自が操作する単独身体、それぞれ左右半身を操作する結合身体、二人の動きの平均合成による共有身体を用いた。結合身体あるいは共有身体では、単独身体操作に比べて、追跡精度と心拍同期が高まると予想された。

キーワード: 共有身体、身体拡張、自在化身体

1. はじめに

二人のユーザーが1つの身体を平均して共有したり [1]、半身を別々に担当したりして [2]、バーチャルな合体の身体化を実現するさまざまな方法が検討されてきた。こうした研究では、バーチャルアバターに対する所有感や行為主体感を主観評定で計測したり、脅威刺激への皮膚コンダクタンス反応などの生理学的指標が調べられているが [2]、心拍の同期については調べられていない。同じ物語を聞くことが、個人間の心拍変動を同期させることが示されている [3]。心拍同期が音を聴くような受動的なタスクから生じるとすれば、合体されたアバターにおける協調的なタスクも同様の生理現象を生じさせる可能性があるという仮説が成り立つ。

本研究では、心理学的側面（主観的身体性）と生理学的側面（心拍）において、バーチャル身体を共有することから生じる効果の存在を探求し、評価することを目的とした。特に、バーチャルな合体によって心拍の同調が促進され、タスクのパフォーマンスと正の相関があるという仮説を立て、その検証を行った。

2. 方法

実験には、インフォームド・コンセントを確認し署名した上で、計 56 人が 2 人 1 組 (28 組) となり参加した。各参加者は、モーションキャプチャ用の機材 (Vicon Bonita10 カメラ、Vicon Pegasus ソフトウェア)、生体センサー

(BioPac BioNomadix®)、VR ヘッドセット (HTC® Vibe™ Pro Eye HMD) を装備した。参加者のリアルタイムの身体運動データは、一人称視点がヘッドセットにレンダリングされたアバター (Unity® 2021) で動きを再現するために使用された。

タスクのために、2 人組の参加者は鏡に面した別々の部屋にレンダリングされた (図 1)。参加者は、両手を伸ばした距離の正面にある 2 つの浮かんでいるボールにそれぞれ手をのせてボールが動きだしたらそれを追うよう指示された。ボールはアバターの前の平面に固定され (z 軸の奥行が一定)、三角関数で定義された経路を移動した (図 2) (式 1)。タスク開始時の関数の位相はボールごとに異なり、左手のボールと右手のボールを追跡するのに必要な動きが一致しないように設定された。

各参加者の組は 5 分間の追跡課題を 3 セッション、計 15 分を行った。各セッションは、以下のようにアバターの制御方法が異なる身体条件に対応した。この制御方法はランダムな順で行われた。

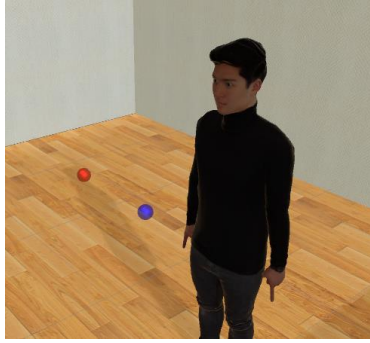


図 1: Room setting and task balls.

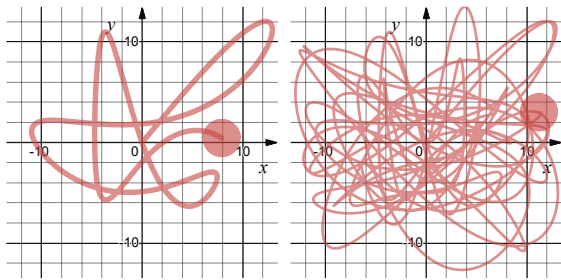


図 2: Example of the path of a ball after 8 seconds [LEFT] and after 60 seconds [RIGHT].

$$\begin{cases} x = 3 \sin(1.8t) + 3.4 \sin(1.8t) + 2.5 \sin(1.82t) + 4.3 \sin(2.34t) \\ y = 3 \sin(1.1t) + 3.2 \sin(3.6t) + 3.8 \sin(2.5t) + 4.8 \sin(1.48t) \end{cases} \quad (1)$$

- ・単独身体 (SOLO) : 参加者は通常通り 1 人 1 つのアバターの動きを制御した。
- ・結合身体 (JOINT) : 参加者は自分のアバターの半分 (左右) の動きを制御し、共同参加者が残りの半分 (左右) の動きを制御した。
- ・共有身体 (SHARED) : 参加者と共同参加者の両方の動きが平均化された (関節角度の線形補間)。

各セッションの後に、参加者は、質問紙 (先行研究 [4] に基づきリッカート尺度に適合させたもの) へ回答した。また、追跡課題の間、心拍が計測された。

3. 結果

3.1 心拍同期

心拍同期の分析は、先行研究 [3] に基づき行った。ECG 信号を解析して各心拍における瞬間心拍数を求め、心拍間の値を補間してアップサンプリングした。その結果、心拍数の連続グラフが得られた。心拍の同期性は、それぞれの参加者組における 2 つのグラフのピアソン相関として定義された。

反復測定 ANOVA を行ったところ、主効果は有意では無かった [図 3]。ただし、単独身体、共有身体、結合身体の順で相関は高かった。

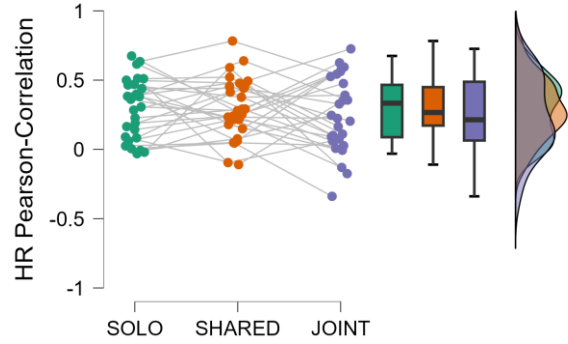


図 3 : Distribution of heart rate synchronization by condition (n=28 dyads)

3.2 身体所有感と行為主体感

質問紙の「身体所有感」(図 4) と「行為主体感」(図 5) の評定値を条件毎に平均化した。ただし、結合条件では、「左腕の所有感・行為主体感」と「右腕の所有感・行為主体感」の値は「自己制御側の所有感・行為主体感」と「相手が制御する側の所有感・行為主体感」に分類した。フリードマン検定により、制御方法の主効果があり、多重比較の結果、単独身体は、共有身体や結合身体における相手が制御する側よりも身体所有感・行為主体感が高かった (p < .001)。

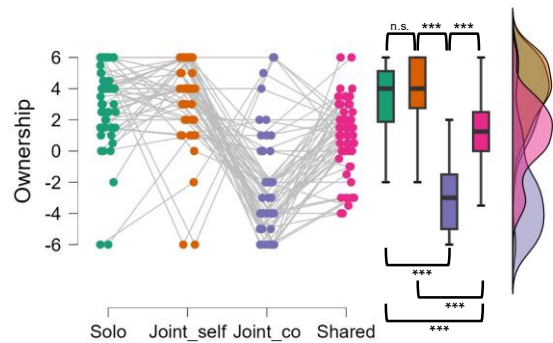


図 4: Ownership by condition

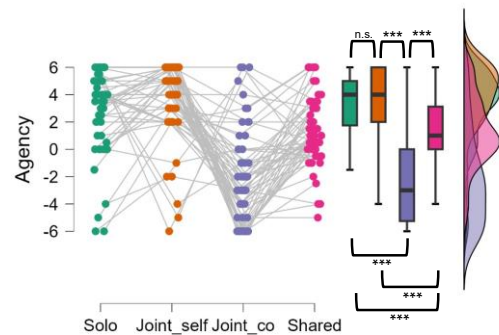


図 5: Agency by condition

3.3 追跡課題の制度

バーチャルアバターの手とそれぞれのボールの距離を条件毎に平均化した。フリードマン検定により、制御方法の主効果があり、多重比較の結果、結合身体は、一人で制

御する単独身体よりも誤差が低かった ($p < .05$)。(図 6)

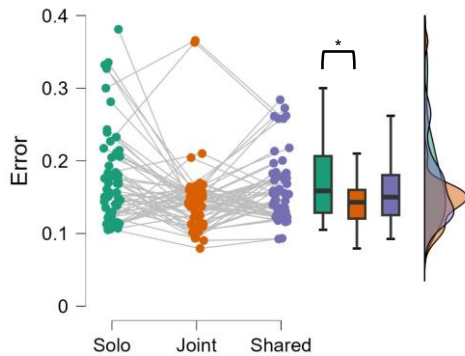


図 6: Error distance by condition.

4. 考察

結合身体を使用することによる追跡課題制度は単独身体状態と比較して統計的に有意に低かった。だが、心拍同期について有意な効果はみられなかった。したがって、身体共有化・結合化が心拍同調を促進するという仮説、および心拍同期が課題パフォーマンスと正の相関があるという仮説は指示されなかった。

身体所有感と行為主体感は似たような結果を示した。単独身体条件と結合身体条件の自己制御側の値が有意に高く、相手が制御する側の値が低かった。また、結合身体条件の値は、自己制御側の値よりも有意に低く、相手が制御する側の値よりも高低かった。

結合身体条件では、手と追跡課題ボールとの誤差距離が有意に減少することが観察された。これは、課題の二つのボールに注意するように参加者が頼まれても、参加者が最も高い身体所有感と行為主体感を感じている半身に

集中し、結合身体の合成的な効率がよくなる可能性がある。一方は、単独身体条件と共有身体条件では、二つのボールに注意しないと誤差が大きくなり、全体的な効率が低くなる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP20H04489; JP22H04774; JP22KK0158) と JST 科学イノベーション創出に向けた大学フェロシップ創設事業(JPMJFS2121)の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Hagiwara, T.; Ganesh, G.; Sugimoto, M.; Inami, M.; & Kitazaki, M. (2020). Individuals prioritize the reach straightness and hand jerk of a shared avatar over their own. *iScience*, 23(12), 101732.
DOI: [10.1016/j.isci.2020.101732](https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101732)
- [2] Hapuarachchi, H.; & Kitazaki, M. (2022). Knowing the intention behind limb movements of a partner increases embodiment towards the limb of joint avatar. *Scientific Reports*, 12, 11453.
DOI: [10.1038/s41598-022-15932-x](https://doi.org/10.1038/s41598-022-15932-x)
- [3] Pérez, P.; *et al.* (2021) Conscious processing of narrative stimuli synchronizes heart rate between individuals. *Cell Reports* 36, 109692
DOI: [10.1016/j.celrep.2021.109692](https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.109692)
- [4] Gonzalez-Franco, M.; & Peck, TC. (2018). Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, 5:74.
DOI: [10.3389/frobt.2018.00074](https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00074)