

運動補助課題におけるパフォーマンスと運動主体感が

自己効力感に与える影響

○温 文 (東京大学), 青柳 恵 (東京大学), 濱田 裕幸 (東京大学),
山下 淳 (東京大学), 浅間 一 (東京大学)

The influence of task performance and sense of agency on self-efficacy in motor assistance

○Wen WEN (The University of Tokyo), Kei AOYAGI (The University of Tokyo), Hiroyuki HAMADA (The University of Tokyo), Atsushi YAMASHITA (The University of Tokyo), and Hajime Asama (The University of Tokyo)

Abstract: Self-efficacy refers to the subjective feeling of being able to achieve a goal within one's own capacity. It is closely linked with motivation, particularly in the domain of motor rehabilitation. On the other hand, assistance robots are widely used in motor rehabilitation to help users to achieve better performance. However, it remains unclear if assisted motor performance is sufficient to enhance users' self-efficacy. The present study hypothesized that the sense of agency is critical to link improved motor performance by assistance with self-efficacy. In other words, users' self-efficacy can be improved only when users attribute the task performance to their own actions. The results of the present study supported our hypothesis and provided useful knowledge for the design of motor assistance robot and rehabilitation program in future study.

1. 緒言

令和3年現在において、日本の総人口に占める65歳以上の高齢者の割合は29.1%となる[1]。社会の高齢化に伴い、脳卒中の発症率は高く、運動後遺症からの運動リハビリテーション（以下「リハビリ」と略す）の需要が高くなっている。近年では、ロボットを用いたリハビリ治療が急増しており、上肢用と下肢用など多種多様なロボットが開発されている[2]。運動リハビリにおいては、ユーザの意欲を高めて、持続的なリハビリが望まれている。近年リハビリの分野において、ユーザの自己効力感という主観的な感覚が重要視されている[3]。自己効力感とは、ある状況の中で自分の能力で課題を成し遂げるという認識であり[4]、ロボットを使うとどの位できるのか、器具が外されたら自分のパフォーマンスは持続するのかという認識である。近年では、リハビリにおけるユーザや患者の自己効力感を向上させるシステムデザインが重要視されてきた[5]。

これまでの研究によると、自己効力感は成功体験、すなわちパフォーマンスに大きく影響されると考えられている[4]。しかし、アシストロボットを使用する際に、ロボットを使っていると自己効力感が高くても、日常生活に戻ってアシストロボットを外した場合、自己効力感が下がってしまうのは望ましくない。また、ロボットにアシストされ、自分の力では何もしていな

いと感じると、自己効力感の向上に繋がらない。そこで、本研究では自己効力感の向上における認知プロセスの解明を目的とする。本研究では、アシストロボットを使用する際の課題パフォーマンスの帰属、すなわち運動主体感に注目する。運動主体感とは自分の意思で自分の行動を制御し、外界の変化を引き起こしているという主観的な感覚を指す。アシストロボットを使用する場合、自分の身体が動かされていると感じると運動主体感が低く、自分の意思で動いていると感じると運動主体感が高い。本研究では、運動リハビリにおいて、課題パフォーマンスがアシストによって向上される場合、運動主体感が高いときだけ、自己効力感の向上に繋がるのではないかという仮説を提案し、実験参加者実験を用いて検証した。

2. 実験方法

2.1 実験参加者

18名の健常な男女が実験に参加した。本研究は東京大学大学院工学系研究科研究倫理委員会の許可を得て実施した。実験の前にすべての実験参加者に同意書への署名を得た。

2.2 実験課題

本実験はバーチャルリアリティ (VR: Virtual Reality) を用いて課題を作成した。実験参加者はヘッドマウン

トディスプレイ (Oculus Rift, Oculus VR) をつけ、VR の中で手を上に伸ばす課題を行った。ヘッドマウントディスプレイの正面に手の動作をトラッキングするセンサー (Leap Motion Controller, Leap Motion, Inc) を取り付け、実験参加者の手の位置を測定し、VR の中でバーチャルハンドの位置にリアルタイムに反映した。

実験参加者は椅子に座った状態で実験を行った。実験参加者の右手はトレーニング用のラバーバンド (Medium, Haquno) で台座に拘束され、上にあげる高さが制限された (Fig. 1)。各試行において、参加者に手をできるだけ高く上に伸ばしてもらい、最高点で 3 秒保持してもらった。VR の中では水平のバーが複数表示されており、バーチャルハンドに触られたバーの色が変わった。実験条件は 3 条件設けられた (Table 1)。ベースライン条件において、実験参加者はラバーバンドを装着せず、バーチャルハンドは手の本当の高さと一致した位置に表示された。介入なし条件において、実験参加者はラバーバンドを装着したが、バーチャルハンドは手の実際の位置に表示された。最後に、介入あり条件において、実験参加者はラバーバンドを装着し、バーチャルハンドは手の実際の位置の 1.5 倍の高さに表示された。まとめると、介入なし条件と介入あり条件では、運動が制限されている状態であった。さらに、介入あり条件では、手の実際の位置よりも少し高い場所にバーチャルハンドを表示し、すこし良いパフォーマンスをフィードバックした。介入条件において、運動主体感と自己効力感の変化を調べた。

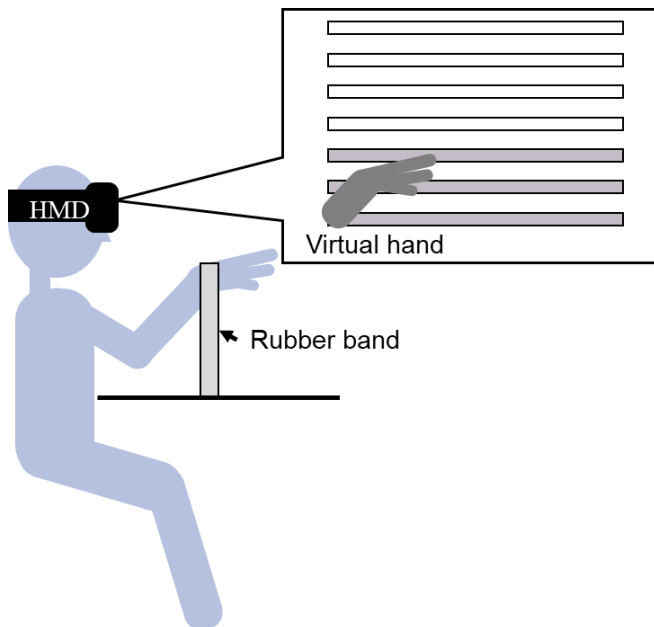


Fig. 1. The set-up of the experimental task. Participants reached their right hand as high as they could while watching the motion of a virtual in a head-mounted display.

Table 1. The experimental conditions

	Rubber band	Visual modification
Baseline	No	No
Non-intervene	Yes	No
Intervene	Yes	Yes

各条件において、実験参加者は手を上下に 10 回動かした後、アンケートに回答した。実験条件の順番は参加者の間でカウンターバランスを取った。まず、運動主体感のアンケートでは、バーチャルハンドの動きは自分の運動でどのくらい制御したと感じたか、1~7 点で評価した (1=全く感じなかった, 4=どちらも言えない, 7=とてもよく感じた)。次に、自己効力感を定量的に測定するため、右手を膝に置いた状態で、直前の実験条件と同じ条件において、右手がどのくらいの高さまで上げられると思うのか、左手を伸ばして回答してもらった。この回答は、自力で上げられる程度を評価することになり、自己効力感の評価に適していると考えられる。

3. 結果

まず、実験参加者の本当の手の高さを Fig. 2 に示す。運動が拘束された介入なし条件と介入あり条件の間に有意な差が見られなかった ($t(17) = 1.38, p = .186$)。視覚介入の有無にかかわらず、実験参加者は同様に手を上げられたことを確認した。次に、実験参加者の運動主体感と自己効力感の結果をそれぞれ Fig. 3 と Fig. 4 に示す。運動主体感の自己評価において、1 要因の反復測定分散分析を行った結果、実験条件の主要因が有意であった ($F(2, 34) = 10.67, p < .001$)。下位検定として対応のある t 検定を用いた。有意水準は Bonferroni 校正に従って .0167 に設定した。下位検定の結果、ベースライン条件と介入なし条件の間、介入なしと介入あり条件の間に有意な差が見られた (順に、 $t(17) = 3.88, p = .001$; $t(17) = 4.45, p < .001$)。介入ありとベースライン条件の間の差は有意でなかった ($t(17) = 1.40, p = .179$)。手の運動が拘束された場合運動主体感が低下したが、視覚介入によって運動主体感がベースラインと同じレベルまで回復したことが分かった。

自己効力感の指標に対して、運動主体感と同様の検定を行った。1 要因の反復測定分散分析を行った結果、実験条件の主要因が有意であった ($F(2, 34) = 40.72, p < .001$)。下位検定の結果、ベースラインよりも介入なしと介入あり条件の自己効力感が有意に低下したことが分かった (順に、 $t(17) = 8.02, p < .001$; $t(17) = 3.87, p = .001$)。さらに、介入なし条件よりも介入あり条件の

自己効力感が有意に高いことが分かった ($t(17) = 5.82, p < .001$)。視覚介入によって自己効力感が上昇したことが分かった。

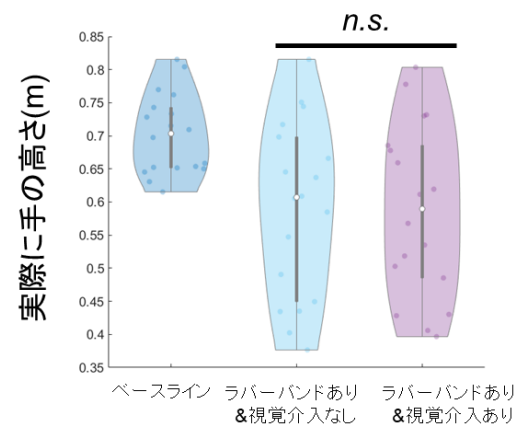


Fig. 2. Actual reaching height in each condition.

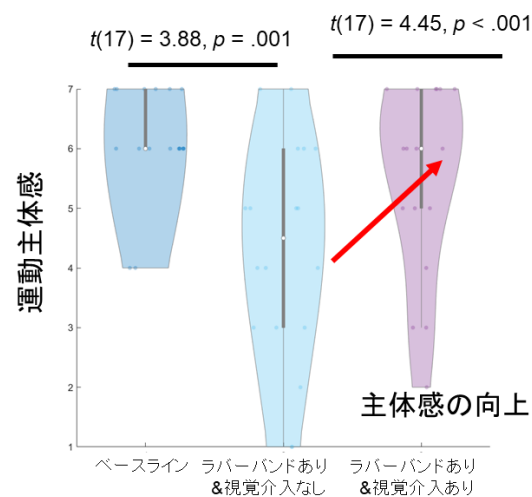


Fig. 3. Agency rating in each condition

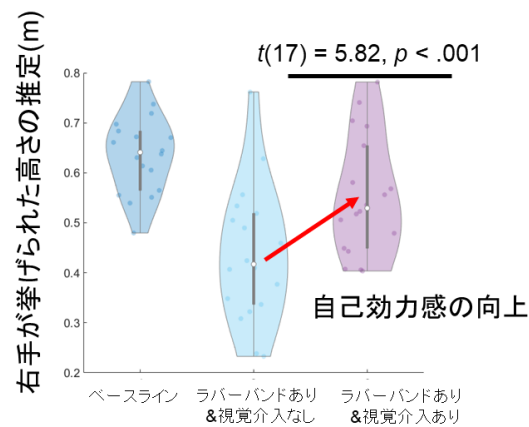


Fig. 4. Self-efficacy index in each condition.

上記の平均値に対する検定の結果から、視覚介入は運動主体感と自己効力感を向上させることが確認され

た。しかし、本研究の仮説を検証するため、各変数のばらつきがどのように他の変数に寄与するのかを確認する必要がある。そこで、本研究は共分散に基づく解析手法である構造方程式モデリング (SEM: Structural Equation Modelling) を用いて解析を行った。SEM では複数の変数間の関連性について仮説モデルを設定し、その仮説モデルの妥当性を検証する手法である。さらに、モデルが正しいとした場合、変数間の定量的な関連性を推定することに役に立つ。

まず、運動主体感の自己評価は個人の基準に影響されやすいので、SEM を行う前に、各条件の回答において、各実験参加者毎の平均と標準偏差で正規化を行った。次に、各実験参加者の各条件のデータを Fig. 5 に示されたモデルにプールし、SEM を行った (IBM SPSS Amos 26)。Table 2 はモデルの適合度の指標と良い適合の基準を示す。提案モデルはデータに良く適合していることが確認できた。さらに、各パス係数の推定値を Fig. 5 に示す。注目すべき点として、バーチャルハンドの高さ (視覚的な課題パフォーマンス) が自己効力感に直接に寄与するパスは有意ではなかった。一方、バーチャルハンドの高さが運動主体感を介して自己効力感に寄与するパスが有意であったことが確認できた。この結果は本研究の仮説を支持した。単に良いパフォーマンスを提示するだけでは自己効力感を向上させることができず、そのパフォーマンスが自分の運動に帰属されることは自己効力感の向上に重要であると言えた。

Table 2. Fit indices and standard of good fit.

Fit index	Standard of good fit	Current model
χ^2	Non-significant	$\chi^2 = 2.016, p = .156$
GFI	$\geq .95$	.982
CFI	$\geq .95$	.981

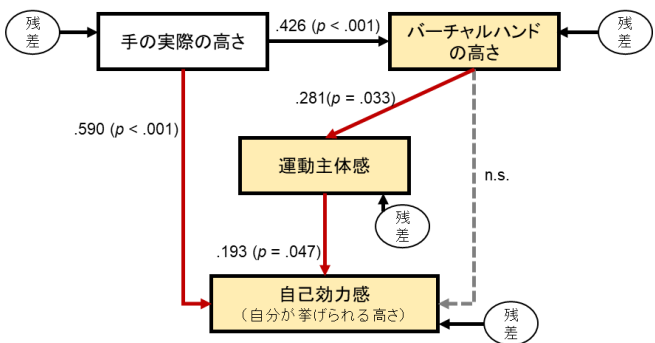


Fig. 5. Coefficients of the model.

4. 考察

本研究は自己効力感の向上の背後の認知メカニズムに注目し、課題パフォーマンスが運動主体感を介して自己効力感に寄与するという仮説を検証した。VRの中で手を上に伸ばす運動課題において、ラバーバンドで手の運動を拘束した上、バーチャルハンドの高さに対して視覚的に介入を行い、実際の運動よりも少し良いフィードバックを与えた。その結果、この視覚介入は運動主体感と自己効力感を向上させたことを発見した。さらに、SEMを行った結果、課題パフォーマンスのフィードバックは直接に自己効力感に寄与したよりも、運動主体感を介して自己効力感の向上に寄与したことが分かった。従って、本研究の仮説が支持された。良いパフォーマンスが自分の運動に帰属されることは、自己効力感の向上に不可欠であると考えられる。

本研究の成果は運動リハビリロボットの開発に重要な知見を提供できる。近年では、アシストロボットを利用するリハビリテーション手法の開発研究が盛んに行われてきた。例えば、上肢外骨格ロボット[6]、下肢の運動を補助するアシストロボット[7]、移動式歩行訓練機[8]など、様々なアシスト器具が開発されている。これらのアシスト器具において、程よいアシストを提供することが重要であると考えられている。やりすぎたアシストでは、ユーザの身体をすべて支え、ユーザが自力で動かさなくても運動できてしまうかもしれない。このような場合、ユーザが自分で動いている感覚が薄く、たとえ運動パフォーマンスが良くなったとしても、器具を外してから自力でできるとは考えにくい。一方、程よいアシストではユーザの運動能力に合わせてアシストを行い、課題パフォーマンスをユーザの自力でできる程度よりも良くすると同時に、「やらされている感」を感じさせないことが重要であると考えられる。そこで、本研究はこのような考え方に対して、認知的な根拠を提供し、運動リハビリにおいてパフォーマンスの向上が自己効力感の向上との関連に必要な中間要素を明らかにした。

本研究の成果に基づいて、今後アシストロボットを設計する際に、ユーザの運動主体感の維持が重要であることが分かった。ユーザとロボットが共同でユーザの身体を動かす際に、運動主体感を維持するため、ユーザの意図に従うサポートが重要であると考えられる[9]。さらに、ロボットのハードウェアにおいて、柔らかさや出力などのパラメータを最適にデザインすることで、運動主体感の維持に繋がると考えられる。今後の研究では、アシストロボットの設計において、運動主体感に影響する要因を明らかにすることが重要であると考えられる。

5. 結言

本研究では、運動補助課題において課題パフォーマンスの向上は運動主体感を介して自己効力感に寄与することを明らかにした。今後の研究において、アシストロボットの開発や運動リハビリプログラムの設計において、自己効力感を向上させるため、運動主体感の維持に寄与する要素の解明とモデル化が重要であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業グラント番号 JPMJMS2034 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] 総務省：“統計トピックス No.129 統計からみた我が国の高齢者”，2021年9月19日。
- [2] 浅見豊子，北島昌輝，村田和樹，牟田隆則，and 田中玲. "リハビリテーション治療におけるリハビリテーションロボットの適応と限界." *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine* 57, no. 5 (2020): 387-391.
- [3] 益田育子，and 小泉美佐子. "通所リハビリテーションを利用する高齢者の健康管理に対する自己効力感の研究." *老年看護学* 13, no. 1 (2008): 23-31.
- [4] Bandura, Albert. "On the functional properties of perceived self-efficacy revisited." (2012): 9-44.
- [5] Matsuo, Yusei, Shunsuke Miki, Takahiro Takeda, and Naoyuki Kubota. "Self-efficacy estimation for health promotion support with robot partner." In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 758-762. IEEE, 2015.
- [6] 畠中めぐみ，古川淳一郎，寺前達也，神尾昭宏，平松佑一，服部憲明，乙宗宏範，藤本宏明，河野悌司，川原田倫子，吉岡知美，矢倉一，野田智之，宮井一郎，and 森本淳：“脳卒中患者に対する上肢外骨格ロボット端末適用の臨床的検証”，第55回日本リハビリテーション医学会学術集会，2018。
- [7] Noda, Tomoyuki, Asuka Takai, Tatsuya Teramae, Eiko Hirokai, Kimitaka Hase, and Jun Morimoto. "Robotizing double-bar ankle-foot orthosis." In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2782-2787. IEEE, 2018.
- [8] 越智友亮，松尾一博，久保和也，山本孝之，榊原利夫，柿原清章，岩出卓，and 寺嶋一彦. "歩行補助を目的とした移動式歩行訓練器の制御." In *自動制御連合講演会講演論文集 第54回自動制御連合講演会*, pp. 87-87. 自動制御連合講演会, 2011.
- [9] Wen, Wen, Yoshihiro Kuroki, and Hajime Asama. "The sense of agency in driving automation." *Frontiers in psychology* 10 (2019): 2691.