

ロボットハンドによる運動教示が 指運動の巧緻性にもたらす効果

筑波大学大学院 上 林 清 孝
(共同研究者) 同 長谷川 泰 久
同 河 本 浩 明
同 衣 川 慶

Effect of Robotic Hand-Assisted Motion on Skilled Finger Movements

by

Kiyotaka Kamibayashi, Yasuhisa Hasegawa,
Hiroaki Kawamoto, Kei Kinugawa
University of Tsukuba

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of robot-assisted passive training on the performance of complex finger tapping. The subjects were healthy adults; they were divided into 2 groups. During the training session, one group underwent robot-assisted passive tapping training (passive training group), and another group did not move their fingers (control group). In one training session, passive finger tapping in a fixed sequence (little-index-ring-little-middle finger) at 2 Hz for 20 s was performed 10 times in the passive training group. The subjects underwent 6 training sessions. The maximum tapping frequency of the finger sequence used in the passive training and of another finger sequence was measured for 20 s before and after each training session. At the first and second training sessions, the mean number of maximum tapping frequency at the finger sequence used in the passive training for the passive training group was significantly greater after the training session than before the training session. The effect of passive training on the fastest tapping frequency, however, was reduced slightly before the next training session. It was suggested that passive tapping with the assistance of the robotic

hand might have a short-term effect after passive training at early training sessions in the present experimental condition.

要 旨

本研究では、複雑な系列の指タッピング運動をロボットハンドによって受動的に繰り返すことで、タッピングのパフォーマンスに効果をもたらすか調べることを目的とした。被験者は健常成人で、訓練セッション中に受動タッピングを行う受動訓練群と指を動かさないコントロール群に5名ずつ振り分けた。1回の訓練セッションで、受動訓練群には、2Hzで小指—示指—環指—小指—中指の系列からなる20秒間の受動タッピングが10セット行われた。訓練セッションは計6回実施した。訓練セッションの前後には、受動訓練と同じ系列ともう1つ別の系列にて、20秒間の最速タッピングを測定した。1, 2回目の訓練セッションで、受動訓練群による受動訓練の系列での平均タッピング数は、セッション前に比べてセッション後に有意に増加した。しかし、セッション後のタッピングパフォーマンスは、次のセッション開始前にはわずかに低下していた。今回の実験条件では、ロボットハンドによる受動タッピングが訓練セッションの初期にパフォーマンスを高めるが、短期的な効果であることが示唆された。

緒 言

パーソナルコンピュータのキーボードタイピングでは両手指の複雑な連続運動が要求され、初めのうちは難しく感じられる。しかし、その動作を繰り返し行うことによって、運動を強く意識することなしに、速く正確にタイプできるようになる。近年、このような運動学習の神経機構に関して、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) や陽電子放射断層撮影法 (PET) などの脳機能イメージングを用

いた研究が盛んに行われており、多くの知見が得られている^{2,4,6,7,8,10}。Kerniら⁷⁾は、複雑な順序による母指と他の4指との対立運動を速く正確に遂行できるよう数週間練習した場合、一次運動野の賦活領域が訓練期間に応じて変化することを報告している。また、正誤フィードバックを受けながら探索的に正しい順序でのボタン押しを学習している際には前頭前野、運動前野、小脳などの複数の領域で活動が高まる一方、補足運動野はすでに学習した順序でのボタン押しで活性が高いことが報告されている⁶⁾。このように運動学習の過程では脳の様々な領域が可塑的に変化するものと考えられ、そのプロセスは早い学習期、ゆっくりとした学習期、学習保持期の3段階でモデル化されている⁴⁾。

このうち運動学習の初期には、運動パターンが確立されておらず、体性感覚情報に強く依存しながら運動を実行しているため、感覚入力運動学習に重要な役割を果たしているものと推察される。他動的に動かされる受動運動では随意的な運動コマンドを必要としないが、脳機能イメージング研究から運動関連領域の賦活化や可塑的变化が示されている^{2,3,9,16)}。さらに、感覚神経を反復的に電気刺激することによっても運動野の興奮性が高まることが報告されており^{12,15)}、体性感覚入力に起因した脳の賦活化や可塑的变化が明らかになってきている。しかしながら、受動運動による体性感覚の入力が運動スキルの向上を引き起こすかについては、これまでほとんど調べられていない。

そこで本研究では、連続的運動学習の代表的なパラダイムである手指の系列タッピングを巧緻的な運動課題とし、ロボットハンドによる受動運動がタッピングのパフォーマンスに及ぼす効果を調

べることを目的とした。

1. 方法

1.1 被験者

被験者は、神経疾患の既往歴がない健常な成人男性10名、女性1名の計11名（年齢 23.0 ± 1.3 歳、身長 170.6 ± 5.7 cm、体重 60.5 ± 9.2 kg）であった。実験参加にあたり、被験者には本研究の目的や方法などを十分に説明し理解させた上で、書面より実験参加の同意を得た。被験者の利き手調査にはエディンバラ利き手テスト¹¹⁾を用い、全被験者を右利きと判定した。

1.2 実験プロトコル

被験者は、空気圧で駆動するロボットハンドによる受動的なタッピングを行う受動訓練群と指を動かさないコントロール群の2群へランダムに振り分けられた。男性被験者1名が指の怪我で実験を継続できなくなったため、各群5名ずつとなった。

示指を1、中指を2、環指を3、小指を4と割り当て、受動訓練では4-1-3-4-2のタッピング順序（系列A）にてロボットハンドによる非利き手のタッピング運動を行った（図1A）。タッピング周波数は2 Hzで、20秒間のタッピングを1セットとした。セット間には40秒間の休息をはさみ、10セットを1日の訓練セッションで実施した（図1B）。タッピングボタンの前方に提示した4つのLEDが各指のタッピングタイミングで点灯するため、受動タッピング中にそのLEDを注視し、手指はリラックスするよう被験者に指示した（図2A）。コントロール群では受動タッピングを行わず、ロボットハンドを装着した状態にて、系列Aの順番に2 Hzで点灯するLEDを注視するよう指示された。受動訓練群と同様に、40秒の休息をはさみながら、20秒間のLED注視を10セット繰り返し、1日の訓練セッションとした（図1B）。全被験者が、週2日の頻度で3週間、計6回の訓練セッションに参加した。

毎回の訓練セッション前後には、各被験者のタ

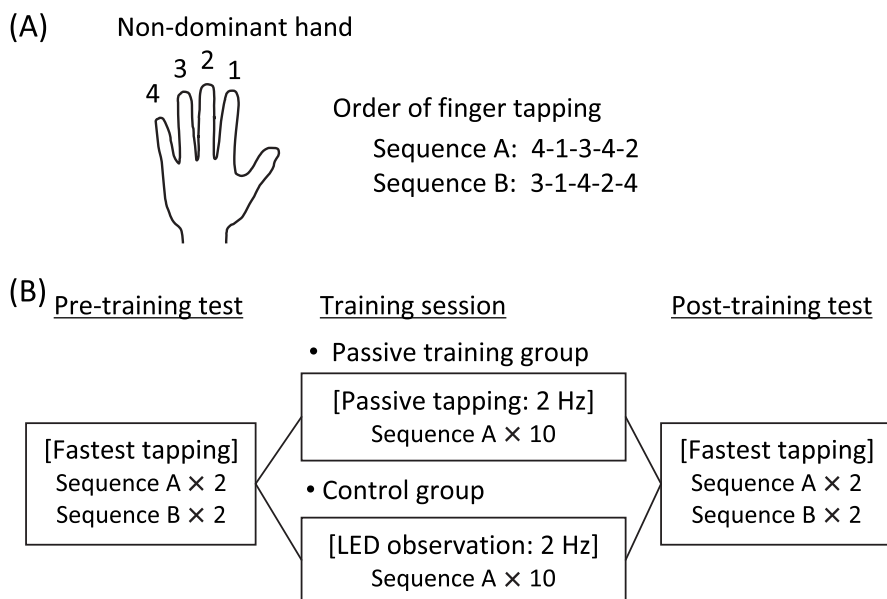


図1 (A) 左手（非利き手）4指の番号付けと2種類の指タッピング系列、(B) 1回の測定における実験プロトコル