

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04020

研究課題名（和文）テイラーメイド技能熟達支援のための感覚運動機能の個人差の解明

研究課題名（英文）Elucidating individual differences in sensorimotor skills of pianists

研究代表者

古屋 晋一（FURUYA, Shinichi）

上智大学・上智大学・准教授

研究者番号：20509690

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、エキスパートのモデルとして演奏家（健常ピアニストおよび局所性ジストニアを罹患したピアニスト）を対象に、熟練技能促進を最適化するテイラーメイド訓練法の開発に不可欠である訓練効果の予測因子を同定するための実験研究を行った。特に手指による巧緻動作の生成を対象技能とし、体性感覚や聴覚の感覚情報処理と運動生成を統合する機序の可塑性に着目し、ロボット工学や神経生理評価、機械学習を組み合わせた研究を行った。局所性ジストニアによる体性感覚運動統合の機能異常や、熟達に伴う当該機能に関わる脳神経系および筋骨格系の変化を明らかにし、複数の国際学術誌に論文として発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳神経可塑性は、卓越した技能の獲得を担うだけでなく、その機能異常は局所性ジストニアなどの脳神経疾患の発症に関わっている。本研究は、特に感覚運動統合に関わる脳神経系の可塑的变化が、手指の巧緻運動技能の失調や洗練に関わる機序を明らかにしただけではなく、筋骨格系と脳神経系の相補的な適応機序が精緻な運動制御に関わることを、独自の手指外骨格システムと非侵襲脳刺激システムおよび機械学習を組み合わせることにより明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, we performed several empirical researches to identify predictors of individual differences in sensorimotor skills of heterogeneous groups of musicians (healthy pianists and pianists affected by focal dystonia) as a model of experts. Here we focused on neuroplasticity of the mechanism integrating sensory information in the somatosensory and auditory domains and motor control, by using robotics techniques, neurophysiological assessments, and machine learning analyses. We found abnormalities of the somatosensory-motor integration in pianists with focal hand dystonia, and adaptation of the nervous and musculoskeletal systems responsible for the dexterous hand-use. The results were published on several international journals.

研究分野：身体運動学

キーワード：可塑性 巧緻性 感覚運動統合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 手指巧緻運動制御を生み出す神経系・筋骨格系の役割

楽器を巧みに演奏したり、外科手術で精緻に器具を使いこなしたりするためには、複数の指同士を時に独立に操作し、時に協調して動かす必要がある。ある指で押さえながら、他の指は動かしたり、複数の指を同時に動かしたりできなければ、多種多様な動きを巧緻にコントロールすることはできない。しかし、このように指同士を独立に動かしたり協調させる生体の仕組みについては、未解明であった。

(2) 手指巧緻運動制御の洗練に関わる固有感覚および触覚の可塑的变化の役割

体性感覚情報が運動の生成や学習と密接に関連していることは古くから知られていたが、その多くは腕到達運動や歩行などの粗大な運動が対象であった。ピアニストの指さばきや熟練工の技術などに見られる手指の巧緻運動には多様な感覚が活用されるが、体性感覚情報がどのように貢献しているかは未解明であった。

(3) 局所性ジストニアに伴う感覚運動統合機能の異常

感覚と運動を統合し、目標とする感覚情報を得るための運動指令を同定する神経システムは内部モデルと呼ばれ、ピアノ演奏の場合、ピアノという楽器の機械特性が表現されている。しかし、局所性ジストニアによる内部モデルの機能異常の有無は未解明であった。

2. 研究の目的

(1) 手指巧緻運動制御を生み出す神経系・筋骨格系の役割

本研究は、幼少期から訓練を積んだピアニストの手指の巧緻性を生み出す脳と身体の仕組みを明らかにすることを目的とした。

(2) 手指巧緻運動制御の洗練に関わる固有感覚および触覚の可塑的变化の役割

ピアニストと特に訓練を受けていない一般の人を対象に、手指の巧緻運動と体性感覚機能(皮膚感覚および固有感覚)の関連を明らかにすることを目的とした。

(3) 局所性ジストニアに伴う感覚運動統合機能の異常

本研究は、局所性ジストニアがピアニストの内部モデルに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 手指巧緻運動制御を生み出す神経系・筋骨格系の役割

ピアニストと楽器演奏訓練未経験者(非音楽家)を対象に、非侵襲脳刺激(経頭蓋磁気刺激:TMS)および手指外骨格ロボット(エグソスケルトン)を用いて、異なる指同士の機能的なつながりの強さを、脳神経系と筋骨格系のそれぞれにおいて評価した。

(2) 手指巧緻運動制御の洗練に関わる固有感覚および触覚の可塑的变化の役割

まず、皮膚感覚がどのように脳で処理されているかを明らかにするために、人差し指の先に定電流刺激装置で微弱な電気刺激を与えた。その際の脳神経活動を脳波計で測定し、皮膚感覚の入力によって大脳皮質一次体性感覚野周辺に反応(体性感覚誘発電位:SEP)を観察した。さらに、SEPが生じるタイミングに、一次運動野において人差し指の筋肉を支配している領域を磁気刺激し、反応(運動誘発電位:MEP)を測定した。固有感覚に関しても同様の実験を行い、外骨格ロボットハンドを被験者の手に装着し、人差し指を一定の速度で伸ばさせることで固有感覚を生じさせ、そのときの脳活動を測定した。

(3) 局所性ジストニアに伴う感覚運動統合機能の異常

小型ロボットを製作し、ピアノ鍵盤の重さを可変に操作できるようにし、目標とする音量を生成できるよう、健常ピアニストと局所性ジストニアを罹患したピアニストに繰り返し打鍵してもらう練習を実施した。

4. 研究成果

(1) 手指巧緻運動制御を生み出す神経系・筋骨格系の役割

エグソスケルトンを用いた評価の結果、薬指において、他の指との解剖学的な結合がピアニストの方が非音楽家より弱いことが明らかになった。しかし、そのような差は他の指では認められず、

特に独立に動かすことが困難である指においてのみ、他の指と独立に動かす上での筋骨格系の拘束が低いことが示唆された。対照的に、非侵襲脳刺激法を用いた神経生理機能評価の結果、薬指を動かした際に他の指の動きを抑制する機能は、ピアニストの方が非音楽家より弱いことが明らかになった。このことから、ある指を動かそうとした際に、他の指を協調して動かしやすい適応が、ピアニストの皮質脊髄路で生じていることが示唆された。以上の結果から、脳神経系と筋骨格系での異なる適応が、ピアニストが指同士の動きの独立性と協調性を両立する背景にあることが、本研究から示唆された。これは、ピアニストが巧緻性をさらに高めるために、脳神経系と筋骨格系にどのようなトレーニングやストレッチが有効かをデザインし、演奏技能の熟達支援や過剰な練習による故障の予防を実現するための基盤となるエビデンスを提供する。成果はCerebral Cortex誌に発表された。

(2) 手指巧緻運動制御の洗練に関わる固有感覚および触覚の可塑的变化の役割

S E Pの振幅はピアニストと一般人で同程度であった。一次運動野において人差し指の筋肉を支配している領域を磁気刺激し、反応(運動誘発電位: M E P)を測定したところ、単に一次運動野だけを磁気刺激したときよりもM E Pが小さくなった。この結果から、皮膚感覚は一次運動野の活動に抑制をかけているといえる。ピアニストは一般人と比較して抑制量が小さく、また巧みなピアニストほど抑制量が小さいことが明らかになった。これらの結果は、ピアニストは皮膚感覚によるブレーキを弱めることで巧みな指さばきを実現していることを示唆している。外骨格ロボットによる受動運動が誘発するS E Pは、大きく分けて3つの反応が観察された。最大振幅はピアニストと一般人で同程度だったものの、伸ばし始めから反応が生じるまでの時間がピアニストは一般人と比べて短いことが明らかになった。これはピアニストはより早く効率的に固有感覚情報を処理していると示唆している。各反応が生じるタイミングで一次運動野を磁気刺激し、得られたM E Pを観察したところ、固有感覚の入力による抑制現象がピアニストでは主に見られた一方、一般人では顕著な抑制が見られず、抑制も促進も起こっていた。関節を素早く滑らかに伸ばすためには、その関節に付いている筋肉の活動を抑制し、関節を柔らかくする必要がある。関節が硬くならないように、固有感覚が一次運動野を調整する機能がピアニストは発達していると考えられる。ピアニストの手指の素早さ、正確さと関連する生理データ(体性感覚入力によって生じる脳波反応の振幅、潜時、体性感覚入力によるM E Pを抑制する量など)を機械学習で解析したところ、固有感覚による一次運動野の抑制が強いピアニストほど、より素早く正確に手指の動きを制御できることが明らかになった。成果はCerebral Cortex誌に発表された。

(3) 局所性ジストニアに伴う感覚運動統合機能の異常

健常ピアニストは人工的に重くなった鍵盤を数回打鍵することにより、狙った音量を生成できたが、局所性ジストニアを手指に罹患したピアニストは、狙った音量を生成できるよう、重くなった鍵盤に適応することができなかった。これは、鍵盤の内部モデルの機能異常を示唆している。一方、指の筋力に両群で差は認められなかった。成果はMovement Disorders誌に発表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirano M., Sakurada M., Furuya S.	4. 巻 6
2. 論文標題 Overcoming the ceiling effects of experts' motor expertise through active haptic training	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabd2558
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.abd2558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 古屋晋一	4. 巻 9
2. 論文標題 音楽家・職業性ジストニア	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1168-1170
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Furuya Shinichi, Lee Andre, Oku Takanori, Altenmuller Eckart	4. 巻 35
2. 論文標題 Aberrant Somatosensory-Motor Adaptation in Musicians' Dystonia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Movement Disorders	6. 最初と最後の頁 808 ~ 815
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/mds.27985	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kimoto Yudai, Hirano Masato, Furuya Shinichi	4. 巻 32
2. 論文標題 Adaptation of the Corticomuscular and Biomechanical Systems of Pianists	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 709 ~ 724
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/cercor/bhab229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirano Masato, Kimoto Yudai, Furuya Shinichi	4. 巻 30
2. 論文標題 Specialized Somatosensory-Motor Integration Functions in Musicians	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 1148 ~ 1158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhz154	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Shinichi Furuya
2. 発表標題 Data science for describing neuromuscular adaptation of hand motor control.
3. 学会等名 International Society of Electrophysiology and Kinesiology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古屋晋一
2. 発表標題 局所性ジストニアの脳神経可塑性
3. 学会等名 関東脳核医学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	ハノーファー音楽演劇メディ大 学			