



Title	The effect of long-term training on control strategies of the multi-joint arm movement in piano keystroke
Author(s)	古屋, 晋一
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49040">https://hdl.handle.net/11094/49040</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	古屋晋一
博士の専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	第21879号
学位授与年月日	平成20年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 医学系研究科予防環境医学専攻
学位論文名	The effect of long-term training on control strategies of the multi-joint arm movement in piano keystroke. (長期的な運動訓練がピアノ打鍵動作における上肢多関節運動の運動制御方略に及ぼす影響について)
論文審査委員	(主査) 教授 木下 博 (副査) 教授 杉田 義郎 教授 佐古田三郎

### 論文内容の要旨

#### 〈背景と目的〉

腕を伸ばす、物を掴む、歩くといった我々の日常動作のほとんどは、複数の関節の運動を伴う多関節運動である。近年、神経科学の分野では、日常動作や熟練動作の制御に関わる運動関連脳領域の役割の解明、および運動機能リハビリテーションの発展などを目的とし、多関節運動の制御方略について調べた研究が盛んに行われてきた。しかし、先行研究は既に被験者が習熟した運動課題について調べたものが主であり、長期的な運動学習との関係については、未知な部分が多い。本研究では、肩、肘、手首、指関節の協調動作を必要とするピアノ打鍵運動を課題に用い、その運動学的特性、動力学的特性、および筋活動特性を熟練ピアニストとピアノ初心者で比較することによって、長期的な運動訓練が上肢の多関節運動の制御方略に及ぼす影響を明らかにすることを狙いとした。

#### 〈方法〉

国内外のコンクールにおいて入賞歴のあるピアニスト7名およびピアノ学習歴が1年未満のピアノ初心者7名を対象に、右手親指小指を用いてのスタッカートでのオクターブ連打(30回)を4段階に等分した音量で実施した。指(MP関節)、手首、肘、および肩関節の関節中心、および指先の運動をポジションセンサー・カメラセットにより、また浅指屈筋、総指伸筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋前部、および三角筋後部の活動を表面筋電図法により各チャンネル900 Hzで取り込んだ。これらに同期して、鍵盤の鉛直方向運動を他のポジションセンサー・カメラセットにより収録した。

#### 〈結果と考察〉

打鍵に際して手を最大に持ち上げた後、指先が鍵盤と接触するまでの手を下降させている間(“振り下ろし期”)の上肢運動特性を調べた結果、ピアニストの肩関節の伸展運動の最大減速度は、初心者に比べて有意に大きかった。これは、ピアニストが初心者に比べて、より大きな運動依存性のトルク(相互作用トルク)を肘、手首関節に作り出していることを示唆している。振り下ろし期に上肢全体で作り出された力学的エネルギーの総量は、両群で差が認められなかった。上肢の力学的エネルギーは、筋肉の収縮力によって関節に作りだされるトルクが行う仕事量と、相互作用トルクが作りだす仕事量の和である。したがって、ピアニストは初心者より多くの相互作用トルクを生成すること

により、振り下ろし期における上腕および前腕の筋の仕事量を軽減させていたと推察される。

次に、指先が鍵盤と接触した後、鍵盤が最下部に到達するまでの間（“押し込み期”）の上肢運動特性を調べた結果、ピアニストでは、指先と鍵盤が接触した直後に肩の屈曲動作の開始が認められたが、初心者では、指先が鍵盤を押し下げている間、肩関節は伸展し続けていた。その結果、押し込み動作が終了した際の、指の鍵盤に対する角度（attack angle）は、ピアニストの方が初心者に比べて有意に大きな値を示した。この際の指先が鍵盤から受ける反力によって関節に生じるトルク（反力トルク）は、ピアニストの MP 関節において初心者より低値であった。さらに、各関節周りの主動筋、拮抗筋の同時収縮量は、前腕部においてのみ、ピアニストの方が初心者よりも小さな同時収縮量を示した。これらの結果は、押し込み期に肩関節の屈曲運動を利用して attack angle を増大し、それによって鍵盤反力に抗するための前腕部指外在筋の仕事量を軽減するという運動方略を、幼少期からの訓練を通じてピアニストが習得したことを見出している。

#### 〈結論〉

本研究では、ピアノ打鍵動作における上肢多関節運動の運動学的特性、動力学的特性、および筋活動特性を、ピアニストと初心者で比較した。その結果、(1)上肢多関節運動の制御方略がピアニストと初心者で異なること、(2)その違いの特性として、主に次の 2 点が挙げられること、が明らかとなった。

- 1：振り下ろし期の肩関節の減速による肘と手首関節における相互作用トルクの利用と、それに伴う筋の仕事量の軽減
- 2：鍵盤押し込み期の予期的な肩関節屈曲動作による attack angle の増大と、それに伴う MP 関節における反力トルクの軽減および指外在筋の同時収縮量の減少

これらの結果は、長期的な運動訓練によりピアニストが生理学的に効率の良い打鍵運動制御方略を獲得していることを示唆している。本研究結果は、腱鞘炎や手根管症候群などの使い過ぎ症候群や、難治性の神経疾患である局所筋ジストニアといったピアノ演奏特有の前腕や手指の障害の予防および発症機序の解明に繋がる。

### 論文審査の結果の要旨

円滑な多関節運動制御機能の獲得に関しては、これまで利き手と非利き手間での運動学および動力学的比較から検証する試みがなされてきた。左右肢の比較では、後天的な学習によって獲得される機能に加えて、遺伝的な大脳半球有意性の影響が強く関わるという問題を除外することが困難であった。そこで本申請者は、学習水準の異なる被験者を対象として、上肢多関節運動を運動学的、動力学的観点から詳細に検討を試みている。実験では、熟練ピアニストとピアノ初心者に打鍵運動を異なる音量課題で実施させ、高速ポジションセンサーカメラによる上肢運動と鍵盤運動のキネマチック情報、表面筋電図法による上肢 6 筋群の活動情報、力覚センサーによる打鍵時の打鍵反力情報を取得している。さらに、キネマチック情報を用いて、4 関節のリンクモデルでの動力学的解析も実施している。その結果、上肢多関節運動の制御方略が両群で異なること、そしてその特性として、主に次の二点を明らかにしている。すなわち、(1)腕の振り下ろし期の肩関節での伸展運動の積極的な減速によって肘および手首での運動依存性のトルク（相互作用トルク）の増大と、それに伴う上腕と前腕の筋の仕事量の軽減、(2)鍵盤の押し込み初期の予測的な肩関節屈曲動作による attack angle の増大と、それに伴う指（MP）関節における反力トルクの軽減および指外在筋の同時収縮量の減少、である。本研究の結果は、長期的な運動訓練と多関節運動制御方略および運動効率との関係について新知見を提供しており、学術的に重要な貢献を為したと判断される。また、本研究の結果は、腱鞘炎や手根管症候群などの酷使症候群や難治性の神経疾患である局所筋ジストニアなどのピアニストに多発する障害の予防と発生機序解明にも繋がる情報が提示されている点は臨床的にも重要な示唆を与えたと考えられる。よって、本研究は、博士（医学）の学位授与に値する物と認める。