

モーションキャプチャと筋電図計測を用いたピアノ演奏における連続指運動スキルの解明

合田 竜志†
Tatsushi GODA

古屋 晋一‡
Shinichi FURUYA

片寄 晴弘†
Haruhiro KATAYOSE

長田 典子†
Noriko NAGATA

†: 関西学院大学 理工学部,

‡: ミネソタ大学 神経科学部

1. 序論

我々の筋骨格系は冗長な数の自由度から成る。Bernstein は、動作の習熟に伴い、中枢神経系はより多くの関節運動を動員し、動作のエネルギー効率を高めると仮説立てた[1]。近年、それを支持する実験結果が、二次元動作で幾つか報告されている。例えば、古屋らは、一つの鍵盤を打鍵する際の鉛直面内での腕運動を調べた結果、熟練ピアニストはピアノ初心者に比べて、筋力以外の力を効果的に利用して打鍵動作を行うことにより、筋肉の負荷量を軽減していることを同定した[2, 3]。しかし、より多くの自由度が運動に動員される三次元空間内での運動において、動作の熟達と関節自由度および運動効率との関連については、未だ報告されていない。本研究では、三次元空間内での連続打鍵動作を、プロとアマチュアピアニストで比較することにより、熟練度が多自由度を伴う上肢運動の制御方略に及ぼす影響を同定することを目指す。

2. 方法

被験者は、国内外のコンクールで入賞経験のあるプロピアニスト 6 名 (男性 2 名、女性 4 名) と、ピアノ学習経験のある大学生 6 名 (男性 3 名、女性 3 名) を対象とする。被験者は、右手の親指と小指を用いて、E3 と C4 の鍵盤を交互に連続で打鍵する課題 (トレモロ) を、6 段階のテンポ (70, 90, 110, 130, 260, 最高速度) および一定の音量 (mf) で、各テンポ 10 秒間ずつ行った。手指と腕に計 26 個の反射マーカを取り付け、同様のマーカを電子ピアノの鍵盤上にも設置した。これらの運動を 13 台の高速度カメラから成るモーションキャプチャシステム (MAC3D, NAC. co) を用いて 120Hz で計測した[4]。モーションキャプチャに同期して、浅指屈筋、総指伸筋の筋活動を、表面筋電位法により 960Hz で取得した (原田電子工業)。なお、筋活動値については、各筋の最大発揮筋力時 (Maximum Voluntary Contraction: MVC) の筋活動を用いて正規化した (%MVC 値)。

3. 結果

3.1 キネマティクス

打鍵時の各関節の角速度の時系列変化を見ると、プロはアマチュアと比較して、肘関節では大きな角速度を、親指および小指の MP 関節ではより小さな角速度を示した (図 1)。

熟練度の異なるグループ間の差を同定するために、繰り返しのある 2 要因分散分析を行った。その結果、小指 MP 関節における最大屈曲角速度では、プロがアマチュアに比べて有意に大きな値を示した ($p < 0.05$) (図 2)。事後検定の結果、テンポ MAX を除きプロとアマチュアで有意な差が認められた。

肘関節での最大回外角速度は、プロ、アマチュア両グループとも、テンポが増大するにつれて増加した (図 3)。繰り返しのある 2 要因分散分析を行った結果、プロはアマチュアと比較して、テンポ 260 と MAX において有意に大きな値を示した ($p < 0.05$) (図 3)。

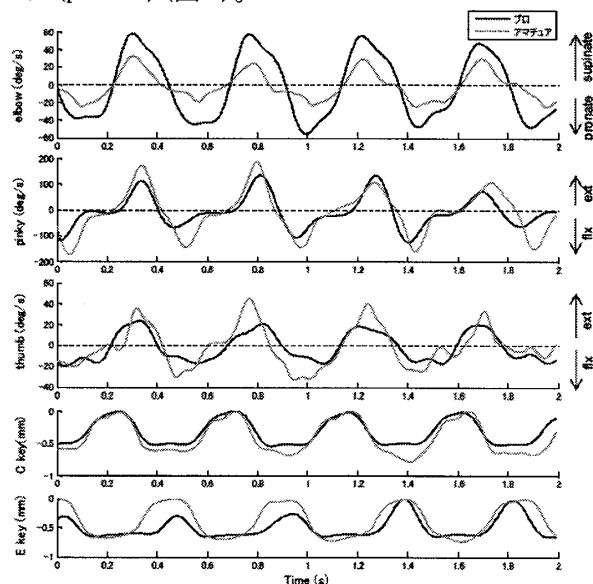


図 1. プロとアマチュアピアニスト各一名ずつの打鍵動作における、各上肢関節の角速度とピアノ鍵盤位置の時系列変化。黒: プロ、灰: アマチュア。

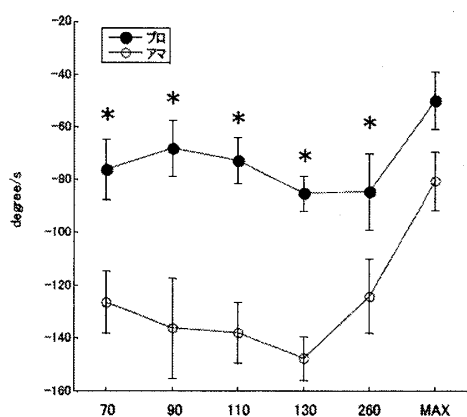


図 2. 各テンポにおける小指 MP 関節の最大屈曲角速度の全員の平均値および SEM 値。●：プロ、○：アマチュア。

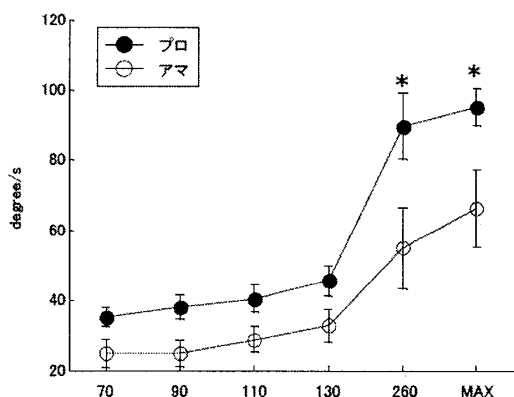


図 3. 各テンポにおける肘関節の最大角速度平均の全員の平均値および SEM 値。●：プロ、○：アマチュア。

3.2 筋活動

速いテンポ、特に 260 と MAX において、アマチュアに顕著な筋活動量の増加が認められた(図 4)。また伸筋、屈筋両データにおいて、いずれもプロの方が小さな値を示した。分散分析の結果、全てのテンポにおいて、プロとアマチュアの間には有意な差が認められた ($p < 0.05$) (図 4)。

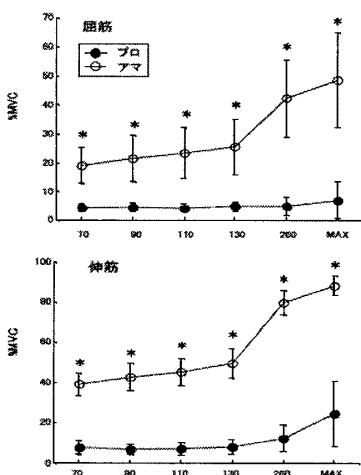


図 4. 各テンポにおける前腕の屈筋、伸筋の筋活動量の全員の平均値および SEM 値。●：プロ、○：アマチュア。

4. 考察

関節運動の最大角速度は、アマチュアと比べ、プロは、肘関節では大きな値を、小指 MP 関節では小さな値を示した。特にテンポの増加に伴い、アマチュアとプロの近位関節運動の差が増大した。また、指運動の関連筋において、プロはアマチュアよりも小さな筋活動量で打鍵を行っていることが明らかとなった。これらの結果から、プロは近位関節を用いることにより遠位関節の運動量を減らし、遠位での筋活動量を低減していることが示唆された。我々の筋は、遠位に比べて近位の方が、生理学的横断面積が大きい、即ち耐疲労性が高いことが知られている。筋疲労は、正確な運動生成や発揮筋力の低下を引き起こすだけでなく、演奏による手指の故障発症の原因となるため[5]、プロピアニストは、長期的な運動訓練の結果、運動効率を向上する運動制御方略を獲得していると推察される。

ピアノ演奏者の故障問題は、古今東西を問わず報告されており、演奏者の約 6 割が手や腕に痛みや痺れを経験したことがある、深刻な問題である[5]。末梢部の筋負荷量の軽減に関わる運動技能を同定した本研究結果は、ピアノ演奏の故障発症を予防する演奏法の開発にも貢献する。

参考文献

- [1] Bernstein NA (1967) The coordination and regulation of movements. Pergamon, London 7
- [2] Furuya S, Osu R, Kinoshita H (2009) Effective utilization of gravity during arm downswing in keystroke by expert pianists. *Neuroscience* 164(2): 822-831
- [3] Furuya S, Kinoshita H (2008) Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke. *Neuroscience* 156(2):390-402
- [4] Nagata N, Kugimoto N, Miyazono R, Omori K, Fujimura T, Furuya S, Katayose H, Miwa H (2009) CG Animation for Piano Performance. *15th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*
- [5] Furuya S, Nakahara H, Aoki T, Kinoshita H (2006) Prevalence and casual factors of playing-related musculoskeletal disorders of the upper extremity and trunk among Japanese pianists and piano students. *Med Probl Perform Art* 21(3): 112-117