

<ピアノを弾くのは大変！>

ピアノ演奏：1分間に数百～数千打鍵

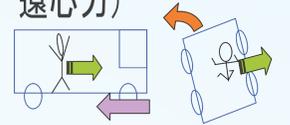
- 演奏や練習によって、筋肉が疲労すると・・・
 - 速く弾けなくなったり、ミスタッチが増える
 - 手や腕が痛くなり、腱鞘炎などの故障の発症につながる
- ⇒筋肉に負担の少ない演奏技術の習得が不可欠

<どうすれば、楽に弾けるか？>

筋力以外の力（非筋力）を運動に利用する
⇒筋肉の仕事量を軽減できる

非筋力とは？

- 運動依存性の力（慣性力、遠心力）
- 物体からの反作用力
- 重力

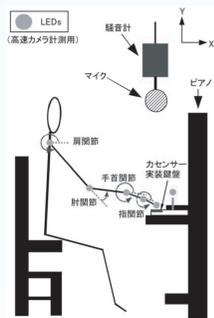


<研究の目的>

一流ピアニストは非筋力を利用することで打鍵時の筋肉の仕事量を軽減しているかを明らかにする

<実験>

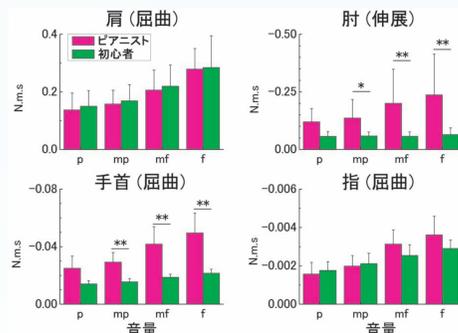
- 被験者
- コンクール入賞歴のあるピアニスト7名 / ピアノ初心者7名
- 課題
- スタッカートでのオクターブ打鍵
- 計測
- 上肢の運動（2次元高速カメラ）
 - 鍵盤反力（カセンサー実装鍵盤）



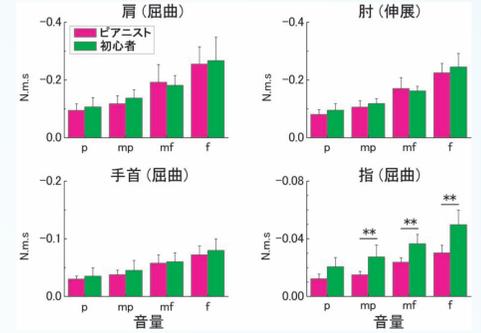
<結果>



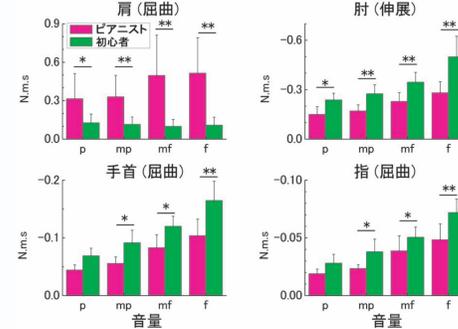
運動依存性トルク (INT)



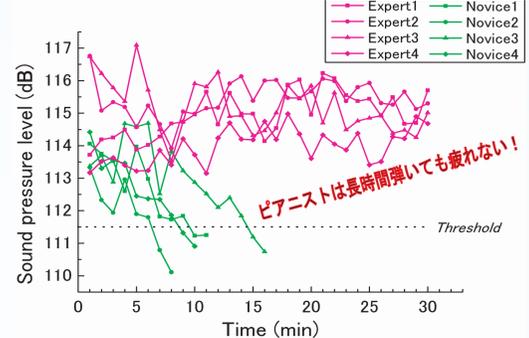
反力トルク (KEY)



筋トルク (MUS)



耐疲労実験の結果



運動依存性トルク：ピアニスト>初心者（肘、手首）
反力トルク：初心者>ピアニスト（指）
筋トルク：ピアニスト>初心者（肩）／ピアニスト<初心者（肘、手首、指）

<解析>

- Newton-Euler法を用いて、各関節の運動方程式を導出
 - 計測した身体運動情報を用いて、以下の関節トルクを算出
- 運動依存性トルク (INT)・・・慣性力、遠心力、コリオリ力によって生じるトルク
 - 筋トルク (MUS)・・・筋肉によって作り出されるトルク
 - 反力トルク (KEY)・・・鍵盤からの反力によって関節に生じるトルク

例：肘関節の運動方程式

$$\begin{aligned}
 \text{INT} = & \ddot{\phi}_1 \left[I_1 + I_2 + I_4 + m_2 r_2^2 + m_3 (l_2^2 + r_2^2) + m_4 (l_2^2 + l_3^2 + r_4^2) \right. \\
 & \left. + (m_2 r_2 l_2 + m_3 l_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \cos \phi_2 + (m_3 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \cos(\phi_2 + \phi_3) + (m_4 r_2 l_2) \cos(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \right. \\
 & \left. + 2(m_3 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \cos \phi_3 + 2(m_4 r_2 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + 2(m_4 r_2 l_2) \cos \phi_4 \right] \\
 & - \ddot{\phi}_2 \left[I_3 + I_4 + m_3 r_3^2 + m_4 (l_3^2 + r_4^2) \right. \\
 & \left. + (m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_2) \cos \phi_3 + (m_4 r_3 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + 2(m_4 r_3 l_2) \cos \phi_4 \right] \\
 & - \ddot{\phi}_3 \left[I_4 + m_4 r_4^2 + (m_4 r_4 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + (m_4 r_4 l_2) \cos \phi_4 \right] \\
 & - \dot{\phi}_1^2 \left[(m_2 r_2 l_2 + m_3 l_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin \phi_2 + (m_3 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin(\phi_2 - \phi_3) + (m_4 r_2 l_2) \sin(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_2^2 \left[(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin \phi_3 + (m_4 r_3 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_3^2 \left[(m_4 r_4 l_2) \sin \phi_4 + (m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \left[2(m_2 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin \phi_2 + 2(m_4 r_2 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_3 \left[2(m_2 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin \phi_2 + 2(m_4 r_2 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_2 \dot{\phi}_3 \left[2(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_2) \sin \phi_3 + 2(m_4 r_3 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_2 \dot{\phi}_4 \left[2(m_4 r_4 l_2) \sin \phi_4 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\
 & + \dot{\phi}_3 \dot{\phi}_4 \left[2(m_4 r_4 l_2) \sin \phi_4 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right]
 \end{aligned}$$

慣性力項
コリオリ力項
遠心力項

$$\text{KEY} = -F \left[l_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) + l_3 \cos(\phi_1 - \phi_3) + l_4 \cos(\phi_1 - \phi_3 + \phi_4) \right] \leftarrow \text{鍵盤反力項}$$

$$\text{MUS} = \ddot{\phi}_1 \left[I_2 + I_3 + I_4 + m_2 r_2^2 + m_3 (l_2^2 + r_3^2) + m_4 (l_2^2 + l_3^2 + r_4^2) \right. \\
 \left. + 2(m_2 r_2 l_2 + m_4 l_2 l_2) \cos \phi_2 + 2(m_4 r_2 l_2) \cos(\phi_2 + \phi_3) + 2(m_4 r_2 l_2) \cos \phi_4 \right] \\
 - g \left[(m_2 r_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2) \sin(\phi_1 + \phi_2) + (m_3 r_3 + m_4 l_3) \sin(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) + (m_4 r_4) \sin(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \right]$$

重力項

<結論>

一流のピアニストは打鍵動作を行う際、肘と手首関節ではより多くの運動依存性トルクを利用し、指関節に作用する反力トルクを軽減することによって、筋肉の仕事量を軽減させている！

<参考文献>

- [1] Furuya, S., Kinoshita, H.: Roles of proximal-to-distal sequential organization of the upper limb segments in striking the keys by expert pianists. *Neurosci Lett* 421, pp.264-269 (2007).
- [2] Furuya, S., Kinoshita, H.: Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players. *Exp Brain Res*, 185, pp.581-593 (2008).
- [3] Furuya, S., Kinoshita, H.: Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke. *Neuroscience*, to appear (2008)