ピアニストの手の動作解析

○酒井直隆, 腰野富久 (横浜市立大学医学部整形外科)

Fong-Chin Su, Michael C Liu, Allen T Bishop, Kai-Nan An

(Mayo Clinic 整形外科バイオメカニクス研究所)

Hand motion analysis of the pianist.

Naotaka Sakai, Tomihisa Koshino

(Dept. of Orthopaedic Surgery, Yokohama City Univ. Sch. of Med.)

Fong-Chin Su, Michael C Liu, Allen T Bishop, Kai-Nan An

(Orthopædic Biomechanics Lab., Mayo Clinic)

1. はじめに

楽器の演奏に際して演奏者が要求される手指の運動は極めて複雑かつ敏捷で、しかも楽器の種類によって動作内容が著しく異なる特色を持っている。例えばピアニストは両前腕を回内して手掌を鍵盤に向け、各指をアーチ型に保ちながら打鍵するのが原則だが、同じピアノを弾く動作でも、単純な音階を弾く場合と、和音やオクターヴ、アルペジオ等のテクニックによって異なるし、強弱や音色を変える場合も各関節の動きは微妙に異なってくる。楽曲を演奏する場合は、様々なテクニックやタッチが動員されるため、その演奏を解析しても対象間等で比較検討することは困難である。

しかし一見複雑そうに見えるピアノ演奏も、基本となるテクニックを選んで一定のテンポで反復演奏させれば、ピアノを弾く動作を単純化することができる。この観点から我々は、反射性マーカーのビデオ画像をコンピューターによって解析する方法で、ピアニストの手指の動作解析を試み、椅子の高さが手の運動に及ぼす影響についても併せて検討したので報告する。

2. 対象と方法

対象は10人のピアニストで、男4人・女6

人であり、平均年齢は29.1歳(24歳~39歳)であった。

動作解析システムはExpert Vision System (Motion Analysis社)を使用した¹⁾(図1)。このシステムはCCDカメラで撮影した反射性マーカーの画像から各マーカーの三次元座標を計算し、さらにマーカーのなす直線や平面間の角度を各フレーム毎に求めるものである。

マーカーは直径3mmの反射性マーカーを使用し、これをピアニストの右中指の末節(図2のM1)、DIP関節(M2)、中節(M3)、基節(M4, 5)、右手背(M6, 7, 8)および右前腕伸側(M9, 10, 11)に計11個を両面粘着テープで固定した。M1からM6までの6個のマーカーは中指中線上およびその延長線上に並ぶようにし、M6, 7は第2, 3中手骨頸部のMP関節より5mm近位の位置に固定した。M9は橈骨茎状突起上、M10は尺骨茎状突起上に固定し、M8はM6, 7とM9, 10の中間でM1から6を貫く直線上の位置に固定した。

赤色のリングライトを取り付けたNEC社製CCDカメラ4台を設置し、今回の動作解析用に作製した高さ40cm、幅30cm、奥行き30cmのキャリブレーション・フレーム(直径

図1 : Expert Vision System

電子ピアノ前上方に設置した4台のCCDカメラで撮影したマーカーの画像をコンピューターで解析した。

図2 : 反射性マーカーの位置

右中指背側・右手背に直径3mm、計11個の反射性マーカーを張り付けた。

図3 : 音階演奏時の右中指DIP、PIP、MP関節と手関節(Wrist)の変化

毎秒60フレーム、計240フレームにおける各関節の屈曲角度変化を示す。音階演奏ではMP関節が周期的に屈曲し、打鍵した瞬間DIP関節の屈曲が減少したが、他のPIP関節および手関節には大きな変化はなかった。

図4 : 和音演奏時の右中指DIP、PIP、MP関節と手関節(Wrist)の変化

和音演奏では手関節が周期的に屈曲し、MP関節およびDIP関節は音階の時ほどの変化を示さなかった。

2.5インチの反射性マーカーを $4 \times 4 = 16$ 個(使用)を用いてまずキャリブレーションを行った。次いで、電子ピアノ(ヤマハ社製クラビノーバCLP-123)を設置して、上記の反射性マーカーを右手に付けたピアニストに演奏させた。ピアノ演奏は、基本的なハ長調音階(ド・レ・ミ・ファ・ソ・ファ・ミ・レ・ド)を毎分120拍の速度で、ハ長調和音(ドミソ)を毎分80拍の速度で演奏させた。音階では1指から5指までの各指で交互に打鍵させ、和音は1・3・5指でド・ミ・ソの鍵盤を同時に打鍵させた。演奏に際しては、ピアニストを床からの高さが56.5cmの高い椅子と、高さ41.5cmの低い椅子に座らせ、椅子の高さのピアノ演奏に及ぼす影響を検討した。

CCDカメラによる撮影は毎分60フレームで4秒間、計240フレーム行い、このデータをビデオ・プロセッサおよびワークステーション・コンピューター(SUN4-110)を用いて解析して、各フレームにおける中指のDIP、PIP、MP関節および手関節の屈曲角度を計測した。DIP関節の屈曲角度としては直線M1M2とM2M3のなす角度を、PIP関節の屈曲角度としては直線M2M3とM4M5のなす角度を計測した(図2)。MP関節の屈曲角度としては、直線M4M5と平面M6M7M8のなす角度を、手関節の屈曲角度としては、平面M6M7M8と平面M9M10M11のなす角度を計測した。各角度の最大値、最小値、可動域について、高い椅子に座って演奏した場合と低い椅子で演奏した場合とをt検定で比較した。

3. 結果

音階を演奏した場合、打鍵の度にMP関節が周期的に屈曲し、打鍵した瞬間DIP関節の屈曲角が減少したが、他のPIP関節および手関節には大きな変化はなかった(図3)。

一方の和音演奏では、打鍵の度に手関節が周期的な屈曲を繰り返し、MP関節およびDIP関節は音階の時ほどの変化を示さなかった(図4)。

音階演奏時の手関節の最小屈曲角は高い椅子に座った時が $-17.4 \pm 8.4^\circ$ で、低い椅子に座った時の $-5.1 \pm 6.3^\circ$ より有意に($p < 0.01$)小さかった。また音階演奏時の手関節最大屈曲角も、高い椅子に座った時が $-5.8 \pm 7.0^\circ$ で、低い椅子に座った時の $7.2 \pm 9.5^\circ$ より有意に($p < 0.01$)小さかった。和音演奏時も同様で、高い椅子に座った場合が低い椅子よりも最大・最小屈曲角が各々有意に($p < 0.01$)小さかった。音階・和音ともに手関節の可動域には有意差は見られなかった。

DIP、PIP、MP関節の最大・最小屈曲角および関節可動域については、音階・和音のいずれの演奏時でも、両群間に有意差は認められなかった。

4. 考察

手の巧緻動作はその多くが拇指と示指・中指によるつまみ(ピンチ)動作を含んでいるが、ピアノを弾く動作はピンチ動作を含まず、この点で特異な巧緻動作とみることができる⁴⁾。複数のキーを叩いて機械を操作するキーボード操作はピアノばかりでなく、計算機やタイプライター、ワードプロセッサでも見られ、前腕を回内して手関節を軽度屈曲させ、指を丸くアーチ型に保って打鍵する点が共通している。

最近欧米で音楽家の障害が注目されるに連れ、ピアニストの手の動作解析も試みられ始めている⁵⁾。Chungらは手関節角度計でピアニストの演奏中の手関節屈曲角を計測しているが、基本的テクニックを選ばずに複雑な楽曲そのものをピアニストに演奏させ、しかも計測が手関節のみにとどまっている点で、ピ

ピアノ演奏の詳細な解析を行ったとは言い難い³⁾。Hardingらは2台のビデオカメラで撮影した画像を元に、ピアニストの各指関節の力学的解析を試みているが、手関節の動作が解析できぬ上に、指が回旋した場合の測定精度に問題があると思われる⁴⁾。我々は、手指の巧緻動作において手関節および各指関節が連動している点を重視し、これらの関節の角度変化が演奏の最中でも同時に解析できるシステムを試作した。この試作の過程で各種の大きさの反射性マーカーを製作して比較したが、結局直径3mmのものがCCDカメラの解像度に適い、測定誤差も少ないことを知り得た。本システムではCCDカメラを設置するポジションも問題となるが、幸いにもキーボード操作では拇指が対立位をとることが少なく、4台のカメラを前上方に設置することで解析を行うことができた。

音階と和音はピアノのテクニックの中でも最も基本的なものだが、今回この2つのテクニックを解析して比較してみると、音階が主にMP関節の屈伸で弾かれているのに対し、和音は手関節の屈伸が主体で、テクニックの種類によって手関節を含めた手の使い方が大きく異なっていた。このことは同じピアノの鍵盤上の打鍵動作でも、テクニックの種類によって各関節の使い方が異なることを示しており、手指の巧緻動作の多様さを示したものと考えられる。

一方、椅子の高さの影響については、音階と和音の動作で上記のような相違があるにもかかわらず、手関節の最大・最小屈曲角においてのみ両群間に有意差が認められたことは興味深い事実である。椅子の高さの変化は肩および肘の高さの変化をきたし、これが前腕のキーボードに対する傾斜角を変化させるが、今回の結果から、ピアニストは前腕の傾斜角の変化を手関節のみで調節し、各指関節は一

定に保たれていることを知り得た。このことはピアノ演奏ではMP関節以遠の関節角度を一定に保つこと、すなわち指のアーチの形状を一定に保つことが、極めて重要な要素であることを伺わせた。

5. まとめ

- 1) 直径3mmの反射性マーカーとExpert Vision Systemを使って、ピアニストの手指の動作解析を行った。
- 2) 音階演奏ではMP関節の屈伸が、和音では手関節の屈伸が主体となっており、テクニックの種類によって手指動作は異なっていた。
- 3) 椅子の高さを変化させると、手関節のみが変化して前腕の傾斜角の変化を調節しており、他の指関節には影響が見られなかった。

参考文献

- 1) An KN, Growney E, Chao EYS: Measurement of joint kinematics using expertvision system. Biomechanical Sciences Instrumentation. 27:245-252, 1991.
- 2) Chung IS, Ryu J, Ohnishi N, Rowen B, Headrich J: Wrist motion analysis in pianists. Med Probl Perform Art, 4:109-113, 1989.
- 3) Harding DC, Brandt KD, Hillberry BM: Minimization of finger joint forces and tendon tensions in pianists. Med Probl Perform Art, 4:103-108, 1989.
- 4) Kapandji IA: The physiology of the joints. vol:upper limb. pp256-279, Churchill Livingstone, London, 1982.
- 5) Sakai N: Hand pain related to keyboard techniques in pianists. Med Probl Perform Art, 7:63-65, 1992.