

姿勢とチェロ演奏

植野 研[†]
吉田史子^{††}

古川康一[†]
浅海孝子^{††}

永野牧子^{††}
齋藤功^{††}

吉田留実子^{††}
尾崎 知伸[†]

[†] 慶応義塾大学大学院 政策・メディア研究科

^{††} 慶応義塾大学 環境情報学部

概要

本論文では、チェロ演奏時の上肢、特に背中から肩にかけての筋肉各部の筋活動の分析を、猫背状態、背を伸ばした状態、背を伸ばし、力を入れた状態の3種の姿勢ごとに行った。筋活動の解析には筋電図を用い、加算平均処理を行った。本実験により、背を伸ばした時において、他の姿勢と比べて、運弓の主動筋である三角筋が適切に使われていることが分かった。しかし、背を伸ばし力を入れた状態での筋活動は、背を伸ばした状態での筋活動との明らかな差はみられなかった。実験の結果、背を伸ばした時の筋肉の使われ方は、理想的な演奏状態であることが分かった。よって、姿勢が演奏に与える影響が大きいことが分かった。

Posture and Cello Playing

Ken Ueno[†], Koichi Fukawa[†], Makiko Nagano[†], Takako Asami[†],
Rumiko Yoshida[†], Fumiko Yoshida[†], Isao Saito[†]

[†] Graduate school of media and governance, keio university

^{††} Department of Environmental Information, Keio University

Abstract

In this paper we analysed EMG (Electromyogram) during the cello performance with the spine bent, with the spine straight and with the spine straight with extra tensions. And we use EMG to analyse the activities of each muscle. In the straight spine posture the muscle deltoids are able to be moved with more forces on the appropriate position during performance than in the bent spine posture. And this result also suggests that performances with the spine straight is the best posture to perform the cello playing. In the straight posture with extra forces, however, we cannot find any clear difference from the result in the straight posture.

1 はじめに

弦楽器の演奏、特に右腕の運弓運動は、高度な制御を必要とする。例えば、ヴァイオリンの演奏において、熟練者は、上肢で巧みに弓をコントロールしている [1]。

バイオリンと同様に、チェロの演奏においても、弓を支えながらの上肢のきめ細かな制御が必要である。右腕の運弓動作の上肢の関節角度の変化に

ついでの実験により、熟練者は、巧みに上肢をコントロールしていることが報告されている [2]。

また、熟練者、アマチュア演奏家と初心者のチェロの右腕の運弓動作において、筋電図またはEMG (Electromyogram) の手法によって、演奏時の肩から指までの筋肉の使われ方の違いが示されている [3, 4]。ここでは、“各時点で使われる筋肉の組み合わせの違い”が、未経験者とそれ以外の被験者間で確認された。また、職業演奏家とそれ以外の被験

者間での“弓の保持に使われる筋肉の各弦における筋電図の振幅の違い”も明らかにされた。

しかし、これらの実験においては、演奏時に重要である「姿勢」の違いについては言及されていない。本論文において、我々は、姿勢の違いがチェロの演奏動作に与える影響について実験を行い、考察する。具体的には、姿勢を、猫背状態(以下「猫背」とする)、背を伸ばした状態(以下「背伸」とする)、背を伸ばし、さらに余計な力を入れた状態(以下「背伸力入」とする)の3種に分類する。「猫背」とは、いわゆる背中の上部分が前かがみになった状態を指す。「背伸」は、背中をピンと伸ばした状態、「背伸力入」とは、背中を伸ばした状態にさらに足の先に力を入れた状態を指す。この3種の姿勢の違いが、チェロの演奏動作にどのような影響を与えるのかについて、考察するために、筋電図の手法を用いて計測実験を行う。また、本実験では、同一被験者の中での分析にとどめ、個人差などは考慮しないものとする。

2 チェロ演奏に関わる解剖学的背景知識

2.1 肩の解剖学的構造とその機能

肩関節は、上肢と体幹を連結する関節である。解剖学的基本肢位 [5] より、肩関節の運動は体幹を通る面との関係により定義される。すなわち、腕を前方へもっていく動作を屈曲と呼び、腕を後方へもっていく動作を伸展と呼ぶ。また、中心軸(重心)から離しながら腕を外方へもっていく動作を外転と呼ぶ。腕の水平位置を越えて、再び中心軸に近づき、この運動の限度まで持つて行くことができる。このことは屈曲でも同様である。中心軸(重心線)に近づきながら腕を内方にもっていく動作を内転と呼ぶ。しかし、この運動は肘が体幹に接触するため、単独では不可能であり、屈曲または伸展と組み合わせられてのみ可能となる。さらに、上腕長軸において、腕を内方へ回旋させる動作を内旋と呼び、腕を外方へ回旋させる動作を外旋と呼ぶ。上腕骨の内旋は手掌を地面の方へ向かせ、外旋は天井の方へ向かせる動作である。

ここで、機能的肢位とは、上腕骨頭長軸と関節

が45°の外転位、前額面に対して45°水平内転した位置にある肢位を指す(この肢位より、全ての方向において最大の可動域が得られる)。関節包、靭帯は、関節を包み込み、上腕骨頭を懸垂し、矢上面での運動を制限する。また、下方に位置する靭帯は、外転と回旋を制限する。靭帯は極端な位置でのみ緊張する。機能的肢位ではそれらは弛緩している [5]。

特に、肩関節の外転に関する筋は、主に三角筋である。本実験では、肩関節におけるチェロ演奏に関わる筋として、三角筋に注目する。

肩甲-上腕関節の可動域の平均は、外転方向に110°、内転方向に10°、屈曲方向に80°、伸展方向に25°、外旋方向に35°、内旋方向に100°である。回旋域は機能的な基本肢位において最大となり、最大外転位において著しく減少する。また、最大外転位において回旋域は減少し、機能的な基本肢位において回旋域は増大する。

2.2 背中中の解剖学的構造とその機能

脊柱起立筋は、柱を支えるマストのような働きをする。すなわち、脊柱を支える役割をしている [5]。よって、猫背の姿勢では、柱が前方に曲がっているため、柱を維持するのに、背伸時よりも大きい筋電が発生すると考えられる(ただし、この筋は、体表面から見えない)。

3 計測実験

実験は、チェロ経験約40年の男性アマチュア演奏家を被験者として行われた。また、傾斜角が約15°増すようなアタッチメントを取りつけた椅子を使用した。これは、人間の身体が、腿と体幹の角度を90°にして座るのに適していない理由からである [6]。つまり、傾斜角が約90°の椅子に座ると、背骨が約30°後方に曲がってしまい、脊中の自然な湾曲を崩してしまうからである(図1)。この工夫により、必要以上に姿勢維持に筋肉を使わなくて良く、演奏者は演奏に集中できる。また、この椅子を使うと、背を伸ばした時がもっとも理想的な姿勢となると考えられる。

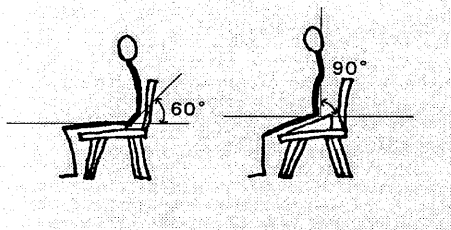


図 1: 椅子と背骨の角度

3.1 タスクと測定条件

被験者に与えるタスクは、Dスケールを1オクターブ分弾き(上昇スケール)、さらに始めの音に戻る動作(下降スケール)である。ただし、各スケールの動作には、上げ弓動作、下げ弓動作を各1回ずつ含んでいる(図2)。また、上昇スケールと下降スケールを1セット(この1セットの中に上げ弓2回、下げ弓2回を含む)とした。計測実験は、各姿勢において、4セット×10回行った。チェロのエンドピンと床との角度は45°とした。さらに、電子メトロノームを用い、1セットを約16秒間で弾くよう指示した(つまり1音につき1秒の時間を与えた)。電子メトロノームの電気信号を計測器に同時に取り込み、解析時の参考となるようにした。また、測定の際、ノイズを取り除くために100Hz HAM フィルタと50Hz Notch フィルタを用いた。なお、ディジタイジングのサンプリングレートは約800Hzである。

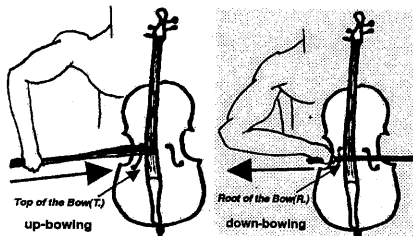


図 2: 運弓動作(右図: 下げ弓, 左図: 上げ弓)

3.2 測定する筋肉の選定(電極の位置)

姿勢を左右すると考えられる背中の筋として、脊中起立筋の左・右の上・中・下部の6箇所、チェロ演奏に関わる腕の動作をつかさどる筋として、三角筋の左・右の前・中・後部の6箇所と母指球(親指の付け根)を選定した。以上の各筋に、表面電極(BerMed社製)をそれぞれ2つずつ取り付け、双極導出で筋電図を記録した。また、測定とは無関係な個所を選び、そこに不関電極を装着した。図3.2に各電極の位置を示す。

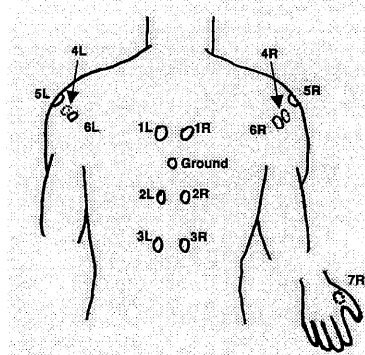


図 3: 表面電極を取り付ける筋肉の位置

3.3 測定システムの概要

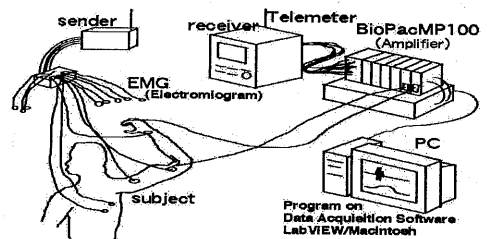


図 4: システム概要図

図3.3にシステムの全体図を示す。本システムでは、テレメータ(NEC Medical Systems社製 サイナクト MT-11)、信号増幅部及びAC/DC変換にBIOPAC(米国Red-Wolf社製)を用い、計測器

制御、デジタルデータの保存、解析は、LabVIEW (National Instruments 社製) 上で開発したプログラムにより行った。

4 実験結果

4.1 解析手法

実験で得られた筋電波形データに対し、メトロノームの信号を手がかりに、前後に余分な部分を排除し、さらにローパスフィルタを用いて高周波成分を取り除く。その後、ノイズの多いデータを取り除き、加算平均を行った。

4.2 解析結果

各姿勢における、筋電位の平均値、標準偏差を表 1,2,3 に示す (単位は μV)。

筋の名称	平均値	標準偏差
脊柱起立筋左上 (1L)	43.05	17.67
脊柱起立筋右上 (1R)	25.76	10.28
脊柱起立筋左中 (2L)	15.22	2.92
脊柱起立筋右中 (2R)	11.82	2.37
脊柱起立筋左下 (3L)	12.77	2.05
脊柱起立筋右下 (3R)	5.37	0.31
三角筋左上 (4L)	35.27	7.27
三角筋右上 (4R)	127.94	48.93
三角筋左中 (5L)	25.08	5.51
三角筋右中 (5R)	61.42	29.15
三角筋左下 (6L)	79.26	36.03
三角筋右下 (6R)	14.60	3.56
母指球右 (7R)	52.12	35.06

表 1: 猫背状態における解析結果

次に、図 5,6,7 に、各姿勢における各筋肉の筋電波形を示す。

これらの結果から、

- 猫背時において、肩 (背上部) と腰まわりの筋肉に力が入る。特に肩 (背上部) に過大な力が入っている。
- 背伸時において、背中、腰に力が入る。
- 腕を制御する三角筋は、背を伸ばすと、適切な場所で力が入る。

筋の名称	平均値	標準偏差
脊柱起立筋左上 (1L)	24.84	9.60
脊柱起立筋右上 (1R)	16.70	7.06
脊柱起立筋左中 (2L)	16.39	2.52
脊柱起立筋右中 (2R)	12.47	1.84
脊柱起立筋左下 (3L)	14.87	2.16
脊柱起立筋右下 (3R)	6.78	1.27
三角筋左上 (4L)	29.34	6.13
三角筋右上 (4R)	150.63	57.15
三角筋左中 (5L)	21.07	5.00
三角筋右中 (5R)	65.14	30.72
三角筋左下 (6L)	14.27	3.44
三角筋右下 (6R)	53.03	34.16
母指球右 (7R)	17.74	5.23

表 2: 背伸状態における解析結果

筋の名称	平均値	標準偏差
脊柱起立筋左上 (1L)	27.27	8.90
脊柱起立筋右上 (1R)	17.78	7.75
脊柱起立筋左中 (2L)	16.21	2.55
脊柱起立筋右中 (2R)	13.22	1.67
脊柱起立筋左下 (3L)	14.51	2.15
脊柱起立筋右下 (3R)	6.64	1.11
三角筋左上 (4L)	30.89	6.71
三角筋右上 (4R)	161.16	63.57
三角筋左中 (5L)	22.03	5.52
三角筋右中 (5R)	66.07	30.95
三角筋左下 (6L)	14.42	3.27
三角筋右下 (6R)	58.53	39.91
母指球右 (7R)	21.06	6.65

表 3: 背伸力入状態における解析結果

ということが読み取れる。

筋電位の平均値の各姿勢における大小関係は、

- 三角筋 (右) … 「背伸力入」 > 「背伸」 > 「猫背」
- 三角筋 (左) … 「猫背」 > 「背伸力入」 > 「背伸」
- 母指球 (右) … 「背伸力入」 > 「背伸」 > 「猫背」

であり、さらには

- 筋肉群 (右) … 「背伸力入」 > 「背伸」 > 「猫背」
- 筋肉群 (左) … 「猫背」 > 「背伸力入」 > 「背伸」

となっている。

つまり、

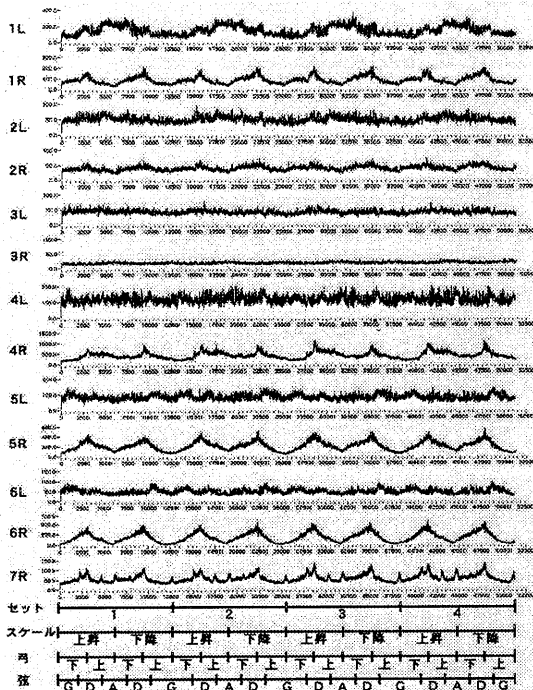


図 5: 猫背状態の筋電図

- 猫背状態では、他と比べて筋電の振幅が最も小さい。
- 伸背状態では、他と比べて筋電の振幅の大きさは猫背状態と伸背力入状態の間にある。
- 伸背力入状態では、他と比べて筋電の振幅が最も大きい。

ことが分かった。

また、右の親指の付け根の筋肉群である母指球の筋電位が、三角筋と同様の活動傾向を示していることが分かった。

さらに、観察により、猫背状態の方が背伸状態よりも、肩の外転角が小さいことが分かった。また、背伸力入状態では、弓の可動域が狭くなり、弓先まで弦に届かないことも分かった。

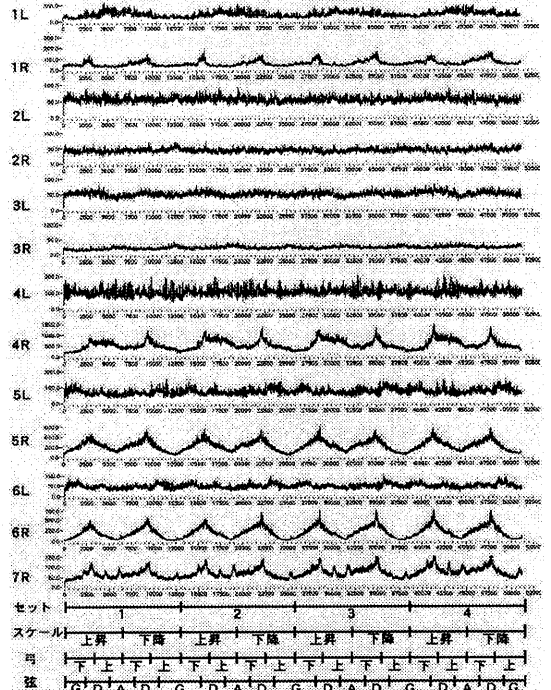


図 6: 背伸状態の筋電図

5 考察とまとめ

三角筋、母指球筋について、筋電位の平均値と波形を合わせて考察から、“背を伸ばすことにより、必要な時に、十分、三角筋および母指球筋に力がある”ということが分かった。

次に、右腕と左腕に分けて考察する。

右側の三角筋によるメリハリの有る肩関節の動作は、上腕にメリハリのある動作を伝達する。つまり、上げ弓と下げ弓との間の弓の返しの部分において、波形のピークがはっきりと現れている。よって、運弓動作が、猫背状態に比べてスムーズに行われることが分かった。

一方、体側から見た左腕の全体の動きとして、上腕の前後の振りが見られた。これは、上腕を肩関節で動かす働きのある三角筋肉による屈曲、伸展動作である。特に、猫背状態では、背伸状態、背伸力入状態に比べ、動きの幅が大きかった。このことは、左腕がぶれるという現象を示している。つ

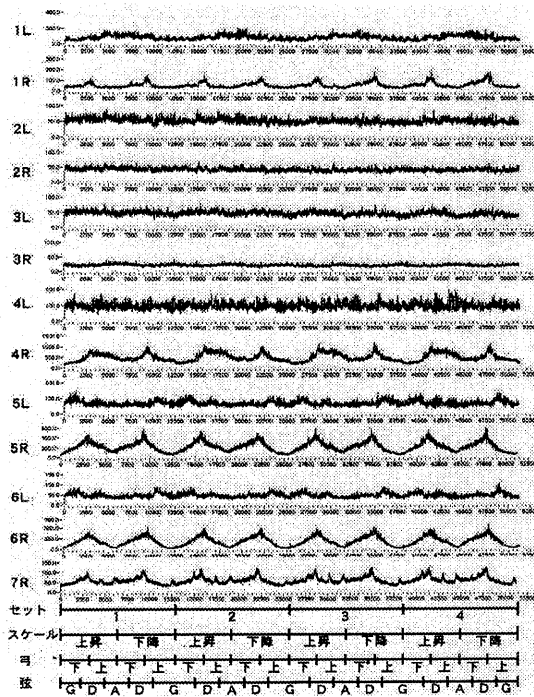


図 7: 背伸力入状態の筋電図

まり、猫背にすることによって、左腕とチェロの位置関係が悪くなり、左腕全体の動きが不安定になっていると考えられる。

以上の考察により、背伸状態において、運弓動作をつかさどる右腕をもっとも良く制御でき、指板を押さえる指の付け根である左腕が安定することが分かった。

また、肩関節は、身体の中で最も自由度の高い関節であるが、最も不安定な関節でもある。よって、肩関節の外転動作は、構造上、負担のかからない状態で行うのが望ましい。演奏における傷害の回避の点からも、背を伸ばすことにより、肩を良い状態に保つことができると考えられる。

6 今後の課題

本実験では、背伸力入状態と、他の姿勢との違いは、はっきりとは分からなかった。その一方で、

背伸力入状態に関し、一つ興味深い結果が観測された。それは、「F」の音が、猫背状態、背伸状態ではきちんと演奏できているのに対し、背伸力入状態においては、音がグリッサンド気味になることが分かった。これに関しては、演奏の音響データの追加分析が必要である。だが、これは少なくとも、背を伸ばしているにも関わらず、余計な力が体に入っていることの影響がここに現れている可能性を示唆している。また、多数の被験者にて実験を行い、個人差の問題に関しても言及して行きたいと考えている。

参考文献

- [1] 渋谷恒司, 菅野重樹, 加藤一郎: バイオリン右腕ポーイング動作におけるスキルの分析, 人間工学, Vol.30 No.6, pp.395 - 403, 1994
- [2] 荻原直道, 佐々木宣明, 山崎信寿: 弦楽器の習熟過程の解明, 人間工学会全国大会論文集, 1996
- [3] Ken UENO, Fumito HIGUCHI, Koichi FURUKAWA: Towards the Understanding of the Technique for Playing String Instruments 6th IFAC Symposium On Automated Systems Based On Human Skill, 1997
- [4] 植野研, 古川康一, 浅海孝子, 永野牧子, 大橋源一郎, 尾崎知伸, 樋口文人: チェロ演奏時の筋電図の計測, 第18回バイオメカニズム学術講演会, 1997
- [5] J.Castaining and J.J.Santini: Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur 1984 Editions Vigot Freres S.A. (邦訳: 井原秀俊, 中山彰一, 井原和彦 共訳 関節・運動器の機能解剖 上肢・脊柱編 共同医書出版社 1986)
- [6] Richard Norris: The Musician's Survival Manual: A Guide to Preventing and Treating Injuries in Instrumentalists International Conference of Symphony and Poera Musicians (IC-SOM) 1997