

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：23902

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26580017

研究課題名(和文) 指導者および受講者のリアルタイム筋電図を用いた新たなピアノレッスン手法の開発

研究課題名(英文) The development of new piano lesson method with real-time electromyography (EMG) of teacher and student

研究代表者

石垣 享 (ISHIGAKI, Tohru)

愛知県立芸術大学・美術学部・教授

研究者番号：60347391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：筋電図波形の観察は、打鍵中の筋活動(MA)を可視化させる。本研究の目的は、ピアノのオクターブ打鍵のMAを視覚的バイオフィードバック(BF)により低減させることを目的にした。実験参加者は、ピアノ専攻学部生と大学院生16名であった。彼らは、右手によるフォルティシモの強さのオクターブ打鍵を行った。最大音圧以前を打鍵前中とし、それ以降を打鍵後として各250ms区間の積分EMGをデータとした。BFは、EMGを観察させながら意識して筋活動を低下させる努力をさせた。短母子外転筋のみにBFの効果が認められた。打鍵後の腕部の全筋群のMAが低下した事は、障害予防の為と考えられる。

研究成果の概要(英文)：Real time viewing of electromyography (EMG) can be used to see muscular activity (MA) during octave keystrokes (OKS). The aim of this study was to examine how MA during piano OKS was reduced by viewing real time EMG (RTEMG). The subjects were sixteen under and graduate students majoring in piano. The experimental task was to play fortissimo OKS on right side. Surface EMG was used to measure and present the MA of subjects' upper body muscles. Integrated EMG during the 250 ms of the before keystroke (before and during keystroke: BDKS) and after keystroke (AKS) at the time of peak sound pressure. The biofeedback (BF) task was to consciously reduce the MA by looking at the RTEMG. Significant BF effect was only observed in abductor pollicis brevis. MA of all arm muscles in AKS was significantly lower than that of PDKS. It was assumed that the subjects concentrated on decreasing MA of all arm muscles in AKS for the prevention of injury.

研究分野：健康科学

キーワード：ピアノ 筋電図 バイオフィードバック オクターブ 経済的演奏

1. 研究開始当初の背景

ピアノ演奏では、「腕を脱力させて打鍵する」という表現が世界中で広く流布している。この意味には良い音色を得るための打鍵様式を示すことが最も上位の目的であることに疑いはないが、打鍵時に無駄な筋力発揮をしない、または障害を発生させないという意味も有していると考えられる。器楽演奏も身体活動であるが故にオーバーユース症候群のような故障 (Playing-Related Musculoskeletal Disorders: PRDMs) も、これまでに認められている¹⁾。ピアノ演奏者の前腕部に好発する障害に強くかかわるとされる演奏技法は、オクターブ、和音、速いパッセージである可能性が示唆されている²⁾。その中でもオクターブ打鍵は、片方の手で1オクターブ離れた音を同時に打鍵するために、一般的には親指と小指で打鍵することになる。ピアノは、オクターブであると165mmの間隔とされていることから、手掌のサイズが小さい者には困難な技法であり、親指と小指を大きく拡げて打鍵しながらこれらの間の指は打鍵できないことから、男性と比較して小柄である女性にとっては身体的に困難な打鍵であるともいえる³⁾。

一般的に音楽教育は、音を発するまでの筋活動(演奏)により発音された音が、自分が意図したものであるのかを検証しながら進行していくものと思われる。したがって、音楽教育は、聴覚的バイオフィードバックによる打鍵イメージの獲得が主たる教育手法となる⁴⁾。必然的に演奏は筋活動により成就するので、フィードバックにより筋活動をコントロールすることがパフォーマンスの向上等に繋がることは明白である。ピアノ教育においても短母子外転筋の積分EMGをバイオフィードバックさせることで、最大振幅および脱力度合いが増加したことが報告されている⁵⁾。

2. 研究の目的

ピアノ演奏時のEMG活動をリアルタイムで視覚的にバイオフィードバック(FB)することで、ピアノ演奏中の無駄な筋活動(MA)を低減させることが可能となるのかもしれない。そこで本研究は、オクターブ打鍵の際の筋電図波形をリアルタイムで視覚的にフィードバックさせることで、筋負担度の低い打鍵が可能となるのかを検討した。

3. 研究の方法

(1) 表面筋電図 (EMG)

表面筋電図 (EMG) の測定は、多用途生体計測器 (Polymate AP1132, TEAC)、アクティブ電極変換ボックス (AP-U040, TEAC) およびアクティブ電極 (AP-C301, TEAC) を使用した。電極は、銀/塩化銀ディスク電極 (ブルーセンサー) を用いて電極間を1cm間隔で導出し1kHzで記

録した。フィードバック用に表示させる波形は、15-200Hzのバンドパスフィルターをかけた。

被験筋は、僧帽筋、三角筋、上腕(二頭筋)、上腕(三頭筋)、長橈側(手根伸筋)、総(指伸筋)、尺側(手根屈筋)、浅(指屈筋)、小指外転筋、短母子外転筋を被験筋とした。

(2) 実験課題

実験参加者は、まず、筋電波形を観察しない状態で右手によるフォルティシモの強さでオクターブ打鍵 (No biofeedback: NBF) を行い、次にそれをリアルタイムで観察しながら打鍵前後の各筋群の発火レベルを意識しながら低下させる打鍵 (Biofeedback: BF) をそれぞれ3回ずつ行った。オクターブは、親指と小指で標準化のために5度、8度と、より困難さが増す9度、さらに10度も行った。

4. 研究成果

(1) 左右の打鍵と細かな打鍵期設定での検出 (第70回日本体力医学会大会)

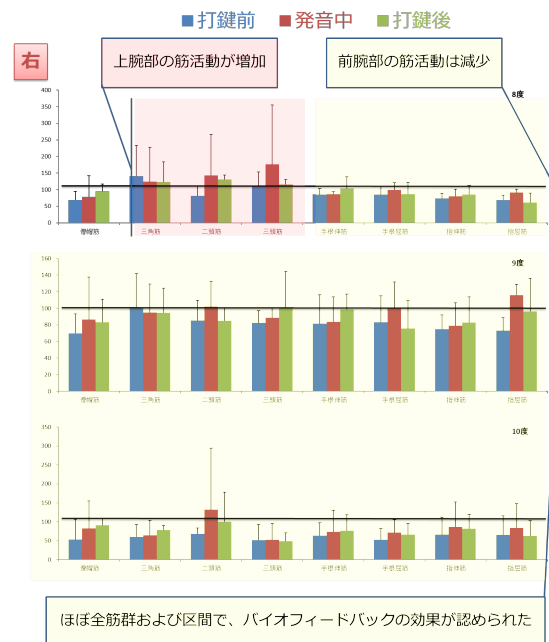
この試みの実験方法

本実験での参加者は、ピアノ専攻大学院生5名(右利き4名、左利き1名)であった。上述したEMG測定でサンプリングされた筋電波形を整流化し、ピーク音圧の前後3ms区間(7ms)を発音中とし、それ以前の500ms区間を打鍵前、それ以降の500ms区間を打鍵後としてそれぞれの区間を積分(IEMG)した。

IEMGは、それぞれの区間をバイオフィードバック前(波形を観察しない=100%)の値に対する割合で標準化した。

左右の各オクターブにおけるIEMG値は、被験筋(8部位)×区間(3部位)の2元配置の分散分析を用いて検定し、有意が認められた項目の事後検定にはTuckey-HSD法を用いた。

結果



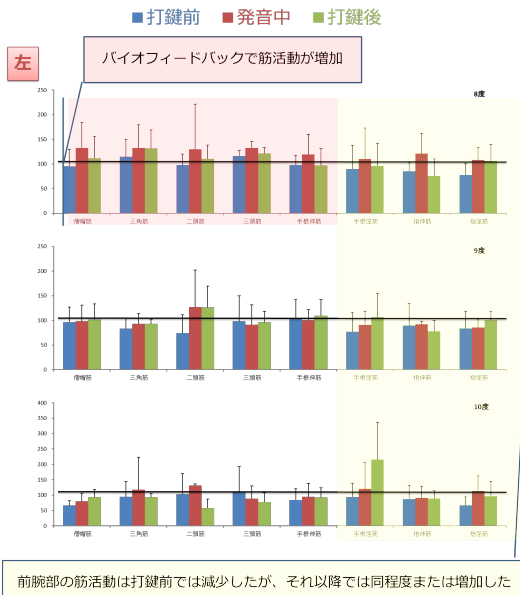


図 1. 打鍵前・中・後の相対 IEMG (FB の効果有は、100% 未満)
前頁が右測、上が左側であり、各上段が 8 度、中段が 9 度、下段が 10 度

1. 右側の前腕部は、打鍵前後通して MA を低下させることが可能であった。しかし、8 度では上腕部の MA が増加した。
2. 左側の前腕部は、打鍵前の MA を低下させることができたが、打鍵後では被験筋により結果が異なった。

考察

1. バイオフィードバックの効果が、右側の前腕部だけに認められた事は、右利きの者が多い事、鍵盤が軽い事の影響があると考えられる。
2. 10 度は協和音程なので、鋭く響く 9 度よりもむしろ柔らかくしっかりとしたタッチが要求されることが、右側の 10 度よりもバイオフィードバックの効果を得ることが容易であったと考えられる。

研究の問題点

打鍵の期分けが曖昧であることが指摘され、特に打鍵中の定義が曖昧であることから、打鍵前と打鍵中を合わせて打鍵前中とし、それ以降を打鍵後とすることで期分けの定義が明確になることが判明した。また、打鍵期がそれぞれ 500ms では、長いという指摘も受けた。これらの指摘により、これ以降の研究は、最大音圧の前 (発音前; before and during keystroke: BDKS) および後 (発音後; after keystroke: AKS) のそれぞれ 250msec 区間を積分 (IEMG) して解析に用いた。

本指摘を受けて測定データを再度解析し、次回学会で発表した。

(2) 左右の打鍵と打鍵期を 2 期に分けた検討 (21th Annual Congress of The European College of Sports Science)

この試みの実験方法

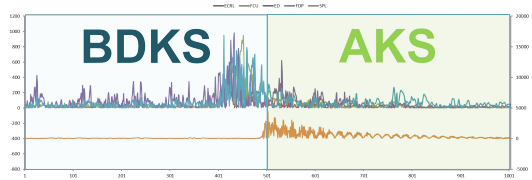
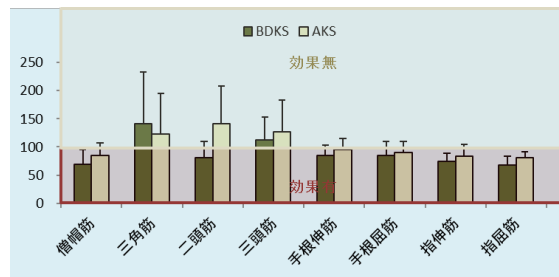


図 2. EMG (上) および音圧 (下) と発音前後の最終的期分け

結果

1. BDKS では、BF により両側の僧帽筋、二頭筋、そして前腕の全筋群の MA を低減させることが可能であった。その反面、三角筋と三頭筋では逆に増加した。
2. AKS では、BF により右側の僧帽筋、そして前腕の全筋群の MA が BDKS も含めて持続的に低減させることが可能であった。その反面、三角筋と上腕の筋群では逆に増加した。左側では、全ての筋群が FB により MA が増加した。

右



左

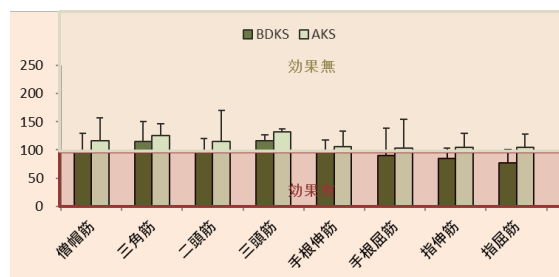


図 3. 8 度の発音前後の相対 IEMG

考察

1. これらの結果は、上腕の筋群では FB の効果が得られない以上に、FB によって MA が増加する可能性が示唆された。この現象は、前腕の筋群の MA を減少させることにより生じる可能性が高く、まさしく上腕と前腕の MA は、トレードオフ関係にあることが示された。
2. 左側では、AKS の場面で FB が逆の効果を産むことが示されたことから、効果の左右差が浮き彫りとなった。

研究の問題点

左右両側での検討は、明確な結果を得られないという指摘を受けた。その理由として利き腕の違いの問題もあるが、ピアノでは主として旋律を担当する右手と伴奏を担当する左手という役割が分かれていること、左側の鍵盤の重さが右側よりも重い事が挙げられ、右手のみの検討が望

まれると判断された。

(3)演奏経験(またはレベル)による AKS の MA の差異 (第 71 回日本体力医学会大会)

目的

この検討は FB ではなく、前回の実験で認められた演奏経験および技能の高いピアニストは、AKS の MA を BDKS よりも低下させている現象を明らかにするために、大学院生の実験参加者を先の実験に 2 名追加して実施した。

この試みの実験方法

データは、8 度および 9 度それぞれの BDKS の IEMG 値に対する AKS のその相対値とした。データは、1) 高校生と大学院生、2) 各筋の 2 元配置の分散分析を行い、有意が得られた要因には Tukey-HSD 法による事後検定を行った。

結果

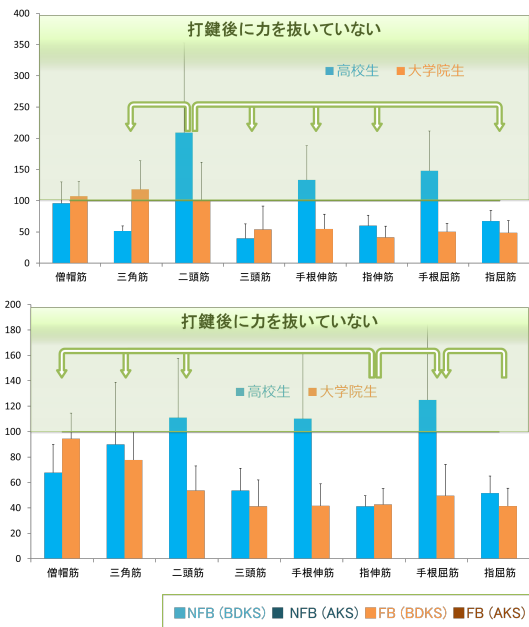


図 4. 8 度(上)および 9 度(下)の相対 IEMG (発音前を 100%)

間は、有意差 ($p < 0.05$) を示す。

1. 8 度および 9 度の両者とも全要因において有意が認められた。
2. 大学院生は、8 度の僧帽筋、三角筋および上腕二頭筋を除いた全てにおいて、AKS に MA を低減させていた。特に、上腕から前腕にかけては、約半減させていた。
3. これに対して高校生では、上腕二頭筋、手根伸筋および屈筋で BDKS 以上に AKS の MA が高かった。
4. 高校生と大学院生に共通する現象は、上腕三頭筋、指伸筋および屈筋の AKS の MA を低減させていることであった。

考察

1. 大学院生は、AKS にほぼ全ての筋を脱力させていることが判明した。特に難易度が上がれば(8 度に対して 9 度)、この現象は

顕著に認められた。

2. 高校生では、指の筋では脱力をしていないが、手首の筋では両者とも AKS の MA が増加していた。
3. さらに高校生では、AKS に上腕二頭筋の MA が増加していたことから、前腕部を持ち上げている方向に力を発揮していると推測される。オクターブは、親指と小指間の指は打鍵できないため持ち上げなければならず、このため手掌部を背屈させ、手首が低い位置にせざるを得ないことで、高校生の上腕二頭筋の活動が高まったと思われる。
4. ピアノ経験年数の増加は、AKS に必要とされない無駄な筋力発揮を上肢の筋全体で可能とすることが判明した。なぜなら、ピアノは打楽器と同じで発音後の MA は発音とは関係の無い無駄な筋力発揮だからである。

(4)筋電図による視覚的バイオフィードバックの最終的な効果検証(第 15 回日本発育発達学会大会)

目的

これまでの研究成果から、ある程度のピアノ経験年数と技能があれば FB により MA をコントロールすることは、技能発達に繋がる可能性がある。そこでピアノ専攻大学生および大学院生を対象として、ピアノ演奏中の無駄な MA を低減させることが可能であるのかを検討した。

この試みの実験方法

実験参加者は、ピアノ専攻学部生および大学院生 16 名であった。実験参加者は、まず、筋電波形を観察しない状態で右手によるフォルティシモの強さで 3 連打のオクターブ打鍵を行い、次にそれをリアルタイムで観察しながら打鍵前後の各筋群の発火レベルを意識しながら低下させる打鍵を行った。オクターブは、親指と小指で 8 度(2 点・3 点)とより困難な 9 度(2 点・3 点)の 2 種類とした。さらに、データの正規化の為に 5 度(2 点・2 点二)の打鍵も測定した。

被験筋は、右側の僧帽筋、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、長橈側手根伸筋、小・総指伸筋、尺側手根屈筋および浅指屈筋、母・小指外転筋を被験筋とした。サンプリングされた筋電波形は、15-500Hz のバンドパスフィルターの後に整流化し、2 回目の最大音圧の前(発音前または打鍵前および中)と後(発音後または完全に打鍵後)のそれぞれ 250msec 区間を積分(IEMG)して解析に用いた。

8 度および 9 度の発音前後の IEMG 値は、5 度のそれらの平均 IEMG 値に対する相対値として標準化した。困難度それぞれにおけるフィードバックの有(FB)無(NFB)と発音前(BDKS)後(AKS)間の比較を二元配置の分散分析で検定し、有意な主効果が認められた項目では、Tukey-HSD 法による多重比較検定を行った。

結果

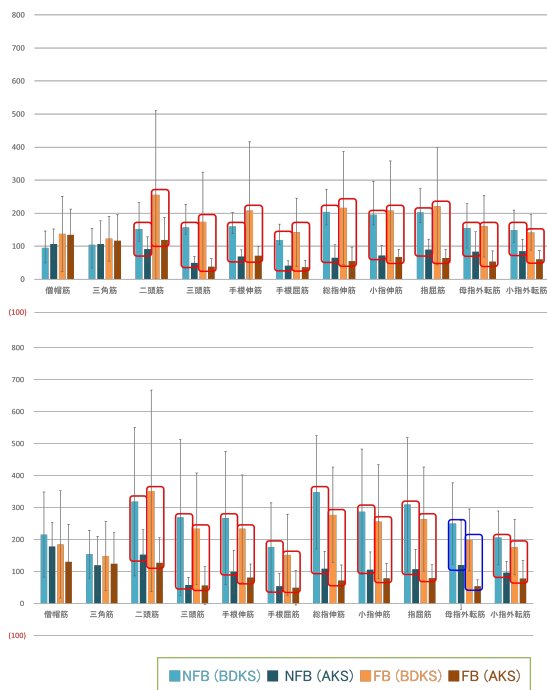


図5. 8度(上)および9度(下)の相対IEMG (5度を100%) (BDKS vs AKS) (BDKS vs AKS & NFB vs FB)は、有意差を示す。

1. FBの有意な効果は、9度の母子外転筋(-58.6%)のみに認められた。
2. 僧帽筋と三角筋を除いた全ての筋でAKSのMAがBDKSのそれよりも有意に低下していた(-222.2% ~ -72.5%)。
3. 全ての条件において腕から先の筋群がAKSにはMAを低下させていた。

考察

1. 本研究の結果から、バイオフィードバックの顕著な効果は、限定的であることが示された。
2. 腕から先の筋群がAKSにはMAを低下させていたことから、被験者は発音には関係無い無駄なMAを速やかに低下させる高度な技能が発達していることが示された。
3. この能力がフィードバックによる効果を修飾している可能性が考えられる。したがって、本取り組みは、演奏技能が未発達の小児を対象とした検討が望まれる。その際には、オクターブは無理なので5度または和音で検討すべきであると考えられる。

(5)本試みの研究全般の概略

本研究は、音楽の演奏に聴覚的なフィードバックでは無く、演奏中の筋活動をリアルタイムで観察させる視覚的なアプローチを用いた画期的なレッスン手法の開発が目的であった。そのために、指導者の筋電図波形を観察させ、同じ課題を実施している自身の波形との比較を行わせたが、身体的および技能面で大きな無理が生じた。それは、指導者が男性であり、学生の多くが女子学生であったことから、掌の大きさまたは指を広げた際の最大幅が違うことが多くの演奏局

面で指導者の真似をすることの困難さを拡大させた。そこで、指導者の演奏パターンを作成し、それを真似させる手法に切り替え、その際の演奏課題を掌が小さい者に困難なオクターブ打鍵とした。この打鍵様式の選択には、初年度の学会発表(日本体育学会 第65回大会)に対するコメントから、打鍵前に鍵盤に指をセットしている時点および打鍵直後に大きな筋負担を示すが、オクターブ打鍵であったことから設定した。また、オクターブ打鍵は、前腕部の障害を引き起こす原因の第1位とされていることから、身体に最も負担の大きな打鍵であることも課題として設定した理由の一つである。

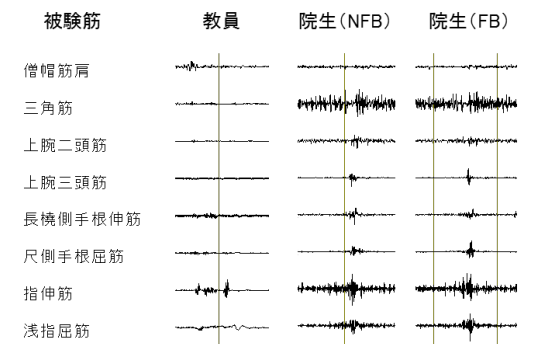


図6. オクターブ(9度)打鍵の教員と大学院生の筋電図波形の例(NFB:フィードバック無,FB:フィードバック)

図6に実際の実験課題例の一部を示したが、例えば大学院生であっても教員との違いが明白であることは一目瞭然である。教員の打鍵は、正しく力の抜けた、またはほとんど筋活動を伴わない打鍵であり、目標となることは当然であるが、ここに至るまでに多くの研鑽が必要であることが判明した。さらに、大学院生のFBの効果も、後の解析をしなければどの程度の効果があったのかが判明し難い事が理解される。よって、実験課題は、実験参加者のフィードバックの前後比較でしか成立しなかった。

数多くの予備実験とその結果を発表した学会で得られた数多くの示唆は、本研究の方向性を明確にした。しかし、FBによって指導者と同程度の打鍵技能を獲得するという目的は、高いレベルの演奏技能を有するピアノ専攻の大学院生でも指導者と同レベルに再現させることは困難であった。本研究の結果は、不本意ながら音楽の演奏技能を獲得するための近道は存在しない可能性を示した。そして、この技能を努力とセンスによって獲得した指導者に対して敬意を表す。

最終的な結論として、ピアノ専攻の学部および大学院生は、発音に関係ない打鍵後には力を抜くことで、経済的な筋活動を行う能力を有していることが判明した。これは、障害予防の観点からも妥当な身体の使用法であると考えられる。

<引用文献>

Kok LM, Vlieland TP, et al.: A comparative study on the prevalence of musculoskeletal complaints among musicians and

non-musicians, BMC Musculoskelet Disord, 4, 14-19, 2013

Allsop L, Ackland T: The prevalence of playing-related musculoskeletal disorders in relation to piano players. -playing techniques and practising strategies-, Royal Northern College of Music, Music and Health, 3(1), 61- 78, 2010

Sakai N, Liu MC, et al.: Hand span and digital motion on the keyboard: concerns of overuse syndrome in musicians, J Hand Surg Am, 31, 830-835, 2006

Pfordresher PQ: Musical training and the role of auditory feedback during performance, Ann N Y Acad Sci, 1252, 171-178, 2012

Montes R, Bedmar M, et al.: EMG biofeedback of the abductor pollicis brevis in piano performance, Biofeedback Self Regul, 18, 67-77, 1993

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

石垣 享, 掛谷 勇三, 高桑 まや: ピアノ演奏の永遠のテーマ, "脱力"とは何か?, 看護人間工学会研究誌, 査読無, 17, 2016, pp. 1-6

[学会発表](計8件)

石垣 享, 掛谷 勇三, 高桑 まや: 熟練ピアニストへの筋電図による視覚的バイオフィードバックの効果検証, 日本発育発達学会 第15回大会, 2017年3月17-18日, 岐阜大学(岐阜県・岐阜市)

石垣 享, 掛谷 勇三: ピアノ演奏の永遠のテーマ, "脱力"とは何か? (招待講演), 看護人間工学会 第24回大会, 2016年11月5日, 愛知県立大学(愛知県・名古屋市)

石垣 享, 掛谷 勇三: 熟練ピアニストは、オクターブ打鍵後の筋活動を低減させる, 日本体力医学会 第71回大会, 2016年9月23-25日, いわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市)

石垣 享: 視覚的フィードバックによるピアノ打鍵時の筋活動量低下効果のピアノ経験による差異, 日本体育学会 第67回大会, 2016年8月24-26日, 大阪体育大学(大阪府・泉南郡)

Ishigaki T, Kakeya Y: Visual biofeedback reduces forearm muscular activity during piano octave stroke, 21th Annual Congress of The European College of Sports Science, 2016年7月5-9日, Austria Center Vienna, Austria (Austria・Vienna)

石垣 享, 掛谷 勇三: バイオフィードバックレッスン(招待講演), 名古屋市立菊里高校音楽科出張レッスン, 2015年11月4日, 名古屋市立菊里高校(愛知県・名古屋市)

石垣 享, 掛谷 勇三: リアルタイム筋電波

形によるピアノバイオフィードバックレッスンの効果検証, 日本体力医学会 第70回大会, 2015年9月18-20日, 和歌山県民文化会館(和歌山県・和歌山市)

石垣 享: ピアノ音量調節における上肢筋群の貢献度, 日本体育学会 第65回大会, 2014年8月25-28日, 岩手大学(岩手県・盛岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石垣 享 (ISHIGAKI, Tohru)

愛知県立芸術大学美術学部・教授

研究者番号: 60347391

(2) 研究分担者

掛谷 勇三 (KAKEYA, Yuzo)

愛知県立芸術大学音楽学部・准教授

研究者番号: 80381747

(4) 研究協力者

高桑 まや (TAKAKUWA, Maya)

愛知県立芸術大学大学院音楽研究科博士前期課程音楽専攻鍵盤楽器領域