

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：24301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11466

研究課題名（和文）呼吸筋による盗血現象が手指筋の力制御能力を低下させるか？～管楽器演奏を想定して～

研究課題名（英文）Does the phenomenon of blood theft by respiratory muscles reduce the ability of hand muscles to precisely control force?

研究代表者

上 英俊（UE, HIDETOSHI）

京都市立芸術大学・美術学部 / 美術研究科・教授

研究者番号：90433242

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：呼吸筋への血流を外因的に増加させた直後、血流が低下している他筋の力制御能への影響を検証した。50%VO₂maxでの運動（E）と、E条件に30%MIPの呼吸負荷を加えた呼吸負荷運動（BE）で上肢の巧緻性と筋活動を測定した。その結果、上腕動脈血流量はBE条件で減少し、PostではE条件より低値を示した。等尺性力調節中の力標準偏差は、条件間で差がなかった。一方、3-15Hz成分を抽出すると、力の標準偏差はPostにおいてBE条件で低値を示した。以上のことより、下肢運動中に呼吸筋活動が増大すると、非活動肢の血流量は減少し、力発揮中には3-15Hz成分の力変動が低下することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツや演奏活動では、激しい呼吸活動を伴いながら四肢活動の微調整を求められる事がある。例えば、パイアスロン（クロスカントリースキー＋射撃）や管楽器の演奏であり、激しい呼吸時に指先の調整能力の低下を経験することがあったが、科学的に証明されていなかった。本調査にて呼吸筋活動増大に伴う非活動肢の血流量の減少及び力発揮中には3-15Hz成分の力変動が低下することが明らかとなった。このことから、呼吸筋トレーニングにより、このような状況が想定される場面でのパフォーマンス軽減が期待される。日々、鍛錬に励む競技者・演奏者にとって、パフォーマンスを低下させる要因を1つでも排除できることは非常に意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：We examined the effect on ability to perform precise force control (steadiness) by hand muscles when blood flow to the hand muscle was reduced as a result of increased blood flow to respiratory muscles. Steadiness evaluated by standard deviation (SD) of force by hand muscles and brachial artery blood flow during force-matching tasks were measured during concurrent cycling exercises at 50% VO₂max (E) and these with extra respiratory load at 30% maximal inspiration pressure (BE) and compared at the initial and end of exercise (POST). Brachial artery blood flow was reduced in BE and lower than in E at POST. SD of force did not differ between conditions. In contrast, the SD of force at 3-15 Hz frequency band was lower than in E at POST. These results indicate that when respiratory muscle activity increases during lower limb exercise, blood flow in the non-active limb decreases and the force variability of the 3-15 Hz component decreases during isometric force-matching tasks.

研究分野：運動生理学

キーワード：身体運動 血流量 脳機能 演奏活動

1. 研究開始当初の背景

生命の維持のために、絶え間なく筋収縮を繰り返すことを強いられる呼吸筋への血流・酸素供給が低下すると、呼吸筋が収縮不全に陥り呼吸機能も低下してしまう。そのため、たとえ運動時に、活動筋からの酸素(血流)需要が高まったとしても、それを多少犠牲にしながら呼吸筋への酸素供給を優先する機能が備わっている。このように、生命維持のために呼吸筋への酸素供給が最優先される。

下肢による激しい運動中は、体積が大きい下肢筋だけではなく、呼吸筋の活動量も増加する。その際、前述したように呼吸筋への血流・酸素分配が優先されるために、運動筋への血流分配が低下する。さらには、上肢筋への血流配分も低下する。したがって、不意に上肢筋を用いた動作を要求された場合は、血流分配が制限されているため、上肢筋では筋線維の動員・発火頻度が変化してしまい、通常の力制御時とは異なる筋線維活動様相によって動作を成立させなければならないことが予想される。

一方で、ヒトがヒトたる所以である高度な認知機能は、医療技術の発展による平均寿命の延長に伴い低下を露呈し、世界的に高齢社会を迎えたことから、地球規模での社会問題になっている。この認知機能の低下を軽減するために、血流に着目した研究が盛んに行われている。特に、低下した脳の血流量の増加や脳活動量を増加させる取り組みが行われている。その中で、体力医科学分野においては、筋力トレーニングに代表される運動トレーニングにより脳血流量や脳活動の増加を促し、認知機能の低下を抑制できることを明らかにした。この運動の効用は、SNS やマスメディアを通じて広く知られることになったにも関わらず、運動の継続率の低さは相変わらずであり、未だ認知症予防の策定が十分ではない。

以上のように、血流動態をキーワードとし、血流に依存する筋活動様相および脳機能(認知機能)の定量化および機能向上を目的とした研究は、生理学的のみならず社会的意義を鑑みても重要である。そこで、本研究では、以下のように2つの研究を実施した。

【研究1】

2. 研究の目的

水泳や管楽器演奏では激しく呼吸筋を活動させるため、演奏に必要な指への血流が制限されている可能性が否定できない。吹奏楽者の場合は管楽器を操作する手指の運動筋への血流配分減少が、スイマーの場合は水を掻く手腕・脚の運動筋への血流配分減少が起こり、最終的には、強く正確に力を発揮することができずに各々の運動パフォーマンスが低下してしまうと予想される。同様に、クロスカントリースキーの直後に射撃を行うバイアスロンは、激運動の直後に繊細な力調整が必要である。このように調整能力を必要とする競技スポーツや演奏で、激しい呼吸筋活動によるパフォーマンス低下が予想できる。そこで、呼吸筋活動量が増加しているときの活動筋での活動筋血流・力調整能力への影響を確認し、呼吸筋による盗血現象の発生を低下させるような方策を模索することを目的として検証を行った。

3. 研究の方法

最大吸気圧(MIP)、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)を測定した数日後に50% $\dot{V}O_{2max}$ を運動(E)条件、そしてE条件に30%MIPの呼吸負荷を加えたものを呼吸負荷運動(BE)条件として設定した。上肢の血流量と手指の巧緻性は、EおよびBE条件での運動開始前(Pre)、運動3分終了直後(Post)、運動終了後5、10、15分(Rec5、10、15)にそれぞれを評価した。条件間は30分以上の休憩を確保し、条件の順序は対象者間でランダムに実施した。

<非活動肢の血流量(上腕動脈血流量)測定>

巧緻動作を行う手指への血流量を評価するため、対象者の左腕肘窩より2-3 cm近位側の上腕動脈上に超音波計測装置のプロープを当て、Bモード法で血管径、ドップラー法で血流速度を測定した。測定した血管径と血流速度より上腕動脈血流量を算出した。

<手指の巧緻性評価(等尺性示指外転力合わせ)>

手指の巧緻性を評価するため、対象者は、右示指外転による最大筋力の40%に設定されたターゲットラインに発揮筋力を合わせる課題を12秒間行った。発揮筋力が安定した8秒間より力の標準偏差を算出し、手指の巧緻性を評価した(標準偏差が小さい手指の巧緻性が高い)。また、力変動のうち、反射活動に由来する振戦成分について詳細に検証するため、力変動に帯域通過フィルタを施し3-15 Hz成分の標準偏差を算出した。

4. 研究成果

上腕動脈血流量は、BE条件で、PreからPostにかけて減少し($P < 0.05$)、PostではBE条件がE条件より低値を示した($P < 0.05$)。また、等尺性の力調節中の力の標準偏差は、どの区間においても条件間で差はなかった($P > 0.05$)。一方で、3-15Hz成分を抽出した場合、その力の標準偏差は、PostにおいてBE条件はE条件より低値を示した($P < 0.05$)。

呼吸負荷による非活動肢の血流量減少は先行研究の結果と一致し、呼吸筋活動を増大させた時に誘発される骨格筋の血管収縮による影響である可能性が高い。また、発揮筋力の 3-15Hz の標準偏差の低下は、呼吸筋への血流量を優先した結果発生する活動筋への血流量の減少により、示指外転筋の筋紡錘における伸張反射が減衰し、反射活動に由来する 3-15Hz という特定の周波数帯の変動が低下した可能性が考えられる。

< 結論 > 下肢運動中に呼吸筋活動が増大すると、非活動肢の血流量は減少し、その肢での力発揮中には 3-15Hz 成分の力変動が低下する。

【研究 2】

2. 研究の目的

医療技術の発展により長寿を実現したが、一方で、加齢にともなう認知機能低下の発現が社会問題となった。体力医学分野の研究で様々な運動によって脳血流量・脳活動が増加する結果、認知機能低下の抑制が証明された。この運動効用が広く知られることになったにも関わらず、運動継続率は未だ低く、認知症予防の策定が不十分である。「音」は音階・音量・リズムの変化によって感情をも表現するコミュニケーションツールとなり得る他、聴覚への刺激は脳に快楽を与えることから、脳機能の維持向上に対するアプローチのひとつとして期待されている。

そこで我々は、音楽演奏と身体運動を組み合わせることで生理的機能改善に付随する効果と運動継続を期待し、トレーニング法開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

本システムにおいて重要となるセンサから得られる数種の生体信号を演奏情報に変換するプログラムは、LabVIEW2014 (National Instruments) を用いて作成した。なお、変換される演奏情報は MIDI 規格 (MIDI Manufacturers Association) に準拠し、音階や音量、発音の操作を実現した。LabVIEW 上で演奏情報に変換された生体信号は、Windows PC に搭載されているソフトウェアシンセサイザ Microsoft GS Wavetable Synth (Microsoft) に送信され、シンセサイザがそれに従ってリアルタイムに音を合成し、発音することで演奏が実現する。また、個人の能力レベルや、様々な動作とシステムを結びつけるため、演奏情報の校正ボタンをプログラムした。これにより、各種センサから得られる信号の最大値・最小値をもとに、逐次、音階や音量の上限・下限や、発音などをスイッチングする信号の閾値を設定することが可能である。

このシステムによる楽曲演奏の可能性を検証するため、課題曲の練習・演奏を行った。課題曲は「アメイジング・グレイス」の旋律に伴奏、打楽器のパートを加えたものに設定した。演奏者は BPM、リズム、音高が規定された楽譜を基に、メトロノームに合わせて 1 人 1 パートずつ演奏した。なお、本システムの有効性の間接的検証として、演奏後にシステムに対する評価とともに、中枢性疲労などについて口頭でアンケート調査を行った。

4. 研究成果

本システムによって、身体動作に伴う信号を演奏情報に変換することが可能となった。以下の website で公開している (<https://www.youtube.com/watch?v=3wq89MdH1Dg>)。また、課題曲の演奏により、BPM60 程度で、複雑なリズムを伴わない楽曲の演奏が実現した。しかし、発音スイッチの操作タイミングに対する発音の若干の遅延がみられた。遅延による演奏困難性は被検者全員からも指摘があった。要因として、信号を PC に入力する際のバッファ数や、入力信号に加えるデジタルフィルタ、また、CPU 処理速度などが考えられる。システムの汎用を高めるべく、これらの要因へ早急に対処しなければならない。

一方で、6 割近い被験者から「脳の疲労感を感じた」という評価が得られた他、演奏に対して「楽しかった」「達成感を感じた」といった主観的感想もあった。このことから、本システムが認知機能や、気分の向上による QOL の改善に有効であるという可能性示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 今田磨己、上英俊、空閑佐智子、吉武康栄
2. 発表標題 トレーニング運動自体をデバイスとした新たな電子楽器の創出～「楽しんで鍛えられる」運動トレーニング法を考慮する～
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉武 康栄 (Yoshitake Yasuhide) (70318822)	信州大学・学術研究院繊維学系・教授 (13601)	
研究分担者	鷲野 壮平 (Washino Sohei) (30850937)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員 (82626)	
研究分担者	空閑 佐智子 (Kuga Sachiko) (10573553)	京都外国語大学・外国語学部・准教授 (34302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------