

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：33305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06845

研究課題名(和文) 随意的な前・後傾姿勢運動時の位置感覚情報への注意と脳の活性化

研究課題名(英文) Brain activation and attention to the positional sensory information during forward and backward leaning movements

研究代表者

藤原 勝夫 (Fujiwara, Katsuo)

金沢学院大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：60190089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、安静立位からの随意的な前傾ないし後傾姿勢運動の反復動作時の注意機能と脳の活性化に対する、姿勢運動の難度、運動方向の切り換えおよび難度の高い姿勢保持位置での足底圧情報の増加の影響を検討した。注意機能は事象関連脳電位によって、脳の活性化は前頭葉血流量および前頭葉が強く関与しない眼球運動反応時間によって評価した。後傾の方が前傾運動よりも、注意が姿勢保持の目標位置での感覚情報により多く向けられると考えられた。脳の活性化は、いずれの姿勢運動でも生じるものと考えられた。高齢者において、足底圧情報を増した場合には、後傾において、注意を向ける必要性が少なくなり、脳の活性化が弱まる傾向が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、連続した前傾・後傾運動を繰り返すことによって、前頭葉の注意機能を働かせるだけでなく、前頭葉以外の眼球運動に関連する脳の活性化がなされることが示された。脳の活性化に、1,2分の前傾・後傾などの軽運動の有効性が示唆されたといえる。高齢者を含め、脳機能の改善の手法として示唆に富むものと考えられる。加えて、高齢者において、踵部の足底圧情報を増した場合には、後傾運動で注意を向ける必要性が少なくなった。前傾運動では、足指部の感覚情報を増した場合に、同様の効果が得られた。これらは、感覚情報の増加に伴う注意の減少を示唆している。高齢者の転倒防止のための靴下等の開発の可能性を示唆する。

研究成果の概要(英文)：This study examined the attention and brain activation with repeated forward or backward leaning movements. Attention to the positional sensory information was evaluated by the event-related potentials. Reaction time of pro-saccade, not strongly related to the frontal lobe, and prefrontal blood flow were measured as the index of brain activation with the leaning movements. The effects of difficulty and switching of the leaning movement, and the increase in plantar pressure information were investigated. More attention would be directed to sensory information for maintenance of backward leaning posture than forward leaning. Saccadic reaction time was shortened and prefrontal blood flow was increased with every leaning movements, indicating brain activation. In elderly people, when plantar pressure information was increased, attention decreased during backward leaning, and brain activation tended to be weak.

研究分野：運動生理学

キーワード：姿勢制御 前傾反復運動 後傾反復運動 注意 脳の活性化 事象関連電位 前頭葉血流量 眼球運動 反応時間

## 1. 研究開始当初の背景

多くの日常生活活動や各種のスポーツ活動では、立位にて動作を反復し、状況に応じて異なる動作を選択して切り替えることがなされる。この動作においては、次の注意機能が重要な役割を果たすと考えられる：多くの感覚情報の中から課題を遂行する上で重要な情報を選択する機能(Lavie, 1995; Purves ら, 2008; Banish ら, 2018)、複数の対象に注意を向ける分散機能(Zanto ら, 2011; Banish ら, 2018)、注意の強度を維持する機能(Gazzaley ら, 2012)、そして一連の動作の中で、注意を向ける対象を変える切り替え機能(Knudsen, 2007)。これらの機能、特にトップダウンによる注意の切り替えには、前頭葉が強く関与していると指摘されている(加藤, 2014)。異種の反復動作間で切り替えを要する場合に、新たに必要となる運動やその実行に重要な感覚情報に対して注意を切り替え、向ける必要があり(Karayanidis ら, 2014)、前頭 - 頭頂領域での脳活動の高まりが認められることが報告されている(Hopfinger ら, 2000; Zanto ら, 2011)。また、難度の高い課題であるほどより多くの注意を必要とし(Lavie, 1995; Lu ら, 2010)、注意の維持には脳の賦活が強く求められる(Coull 1998; 加藤, 2014)。

これらの注意研究では、座位や臥位での視覚刺激に対する手指による選択反応動作を用いており、立位での姿勢運動の切り換えに伴う注意機能については検討がなされていない。そこで本研究では、立位での足関節を中心とした全身の前・後傾運動を用いる。この運動では、転倒予防のために感覚情報をより正確にとらえ、適切に運動出力することが要求される。運動後の姿勢保持のために活動する筋は、前傾では背面筋、後傾では前面筋と異なるため、運動方向によって感覚情報および反応出力が明確に切り替わる。また、圧中心位置を基に、運動後の立位姿勢保持の難度を変化させよう。前傾では踵からの足長に対する相対位置(%FL)の60%FL、後傾では30%FLを境に、姿勢保持が難しくなり、圧中心位置や姿勢筋の活動状態(筋感覚情報)への注意がより必要となると予想される(藤原ら, 1981; 1985; Fujiwara ら, 2003; 2010; Lu ら, 2010)。そこで、難度の異なる単独の前傾ないし後傾運動を繰り返したり、その運動の切り換えを行ったりする。

我々は、足長の30%~60%が安静立位姿勢の安定域であること、そこを逸脱した範囲での、足指圧や踵部の圧の急増が、崩れたバランスの回復に寄与していることを報告した(藤原ら, 1984; Fujiwara ら, 2003)。また、安定性限界付近では、正確な位置知覚が必要であるが、高齢者では、安定域よりも後方において、その位置知覚能が低下することを報告した(藤原ら, 科研B, 2015)。これには、注意機能の低下も関与していることが予想される。姿勢保持の難度が高い位置で、強い足底圧刺激が加われば、高齢者においてもその感覚刺激へ十分な注意が向けられ、正確な位置知覚がなされることが予想される。その結果、その位置での姿勢の安定性が向上するものと期待される。さらにこの刺激を用いての試行を、数日間に渡って繰り返すことにより、注意機能の向上が認められるようになることも十分に予想される。そこで本研究では、足指部ないし踵部に身体重心が移動したときにのみ、これらの位置での足底圧情報が増すような器具を開発する。

我々は、随意的な姿勢運動時(Lu ら, 2010)や周期的床振動時の予測的姿勢調節(Fujiwara ら, 2012)における注意の様相を、事象関連脳電位(ERP)の振幅を用いて明らかにしてきた。また、近赤外線分光法(NIRS)による脳血行動態は、前頭葉の活動状態のよい指標となる(Hoshi ら, 2001; Fujiwara ら, 2010)。さらに我々は、眼球運動反応時間を用いて、脳の活性化状態の継時的変化を明らかにできることを報告してきた(藤原ら, 2009; 国田ら, 2010)。これらを指標として、脳の活性化状態を評価できるだろう。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、安静立位からの随意的な前傾ないし後傾姿勢運動の反復動作時の注意機能と脳の活性化に対する、(1)姿勢運動の難度、(2)運動方向の切り換え、および(3)難度の高い姿勢保持位置での足底圧情報の増加の影響を検討することである。注意機能は事象関連脳電位(ERP)によって、脳の活性化は、前頭葉血流量および眼球運動反応時間によって評価する。

## 3. 研究の方法

本研究は、3つの実験からなる。

実験1：随意的な前・後傾運動時の位置感覚情報への注意

実験2：運動方向の切り換えを必要とする随意的な前・後傾運動時の注意と脳の活性化

実験3：随意的な前・後傾運動時の難度の高い姿勢保持位置での足底圧情報の増加が、注意と脳の活性化におよぼす影響

### (1)被験者

本研究の被験者はそれぞれ、実験1では健康な大学生10名、実験2では健康な大学生14名、

実験3では健康な高齢者8名であった。

### (2) 装置およびデータ記録

前・後傾姿勢運動時の立位位置を把握するために、床反力計を用いた(実験1~3)。床反力計によって検出された圧力の信号(F1, F2, F3)は、アナログ式電子回路を通過した。そして、以下の式に基づいて前後方向の足圧中心位置(CFPy)が算出された。 $CFPy = \{(F2+F3)/(F1+F2+F3)\} \cdot 1$  (1:F1ロードセルからF3とF4を結ぶまでの距離、400mm)足圧中心の電気信号は、ブザー発生器に送られた。ブザー発生器は、被験者に安静立位位置を提示するために用いられた。この装置では、足圧中心の1cmの変位は1Vとして計算された。ブザー音は、足圧中心位置が安静立位位置の±1cmの範囲内に位置している場合に発生した。

注意機能の指標とするために、事象関連脳電位を測定した(実験1~3)。記録電極を国際10-20法のCzに、基準電極を両耳朶に連結した。接地電極をFpzに取り付けた。瞬目に伴うアーチファクトをモニターするための眼電図を、右眼の上下に取り付けた電極から記録した。姿勢筋活動を測定するために、表面筋電図記録を用いて双極誘導用に配置し、以下の筋から筋電図を記録した。大腿直筋(RF)、前脛骨筋(TA)、腓腹筋内側頭(GcM)、母指外転筋(AH)。いずれも身体の左側の筋とした。皮膚の毛を剃り、アルコール綿で拭いた後、電極を、電極間距離を3cmとして、筋の長軸に沿って貼り付けた。電極の入力抵抗は5k以下とした。電極からの信号は、EMGアンプを用い増幅され(EMGとEOG: ×2000; EEG: ×50000)、バンドパスフィルターをかけた(EMG:1.6-1500Hz; EEG:0.05-60 Hz; EOG:0.05-30Hz)。

脳の活性化の指標とするために、眼球運動反応時間および前頭前野血流量を測定した(実験2, 3)。眼球運動反応時間の測定のために、眼球電図アンプと視覚刺激装置を用いた。表面電極を各々の目の眼角の外側に取り付け、アース電極を前頭部の中心に取り付けた。衝動性眼球運動を誘発するために視覚刺激装置を用いた。眼前の中心点及び指標の位置にある赤色発光ダイオード(LED)を設定した時間だけ点灯した。LEDの高さは、目の高さとし、中心点のLEDと目の距離との距離を50cmとした。前頭前野の局所脳血流量を測定するために、局所脳血流測定装置を用いた。時間分解能は、が0.1s、NIR0-200が0.5sであった。検出および光プローブの組み合わせを、左右の前頭葉の頭皮上にそれぞれ3cm間隔で配置した。いずれのプローブも国際10-20法に基づくF3(左)およびF4(右)を中心にして、F3とC3およびF4とC4を結ぶ線と平行になるように配置した。これらの部位は、前頭前野に対応する(Homan et al. 1987)。前額部の皮膚血流量を測定するために、レーザー血流計を用いた。プローブは前額中央に配置した。

警告刺激として低音・中音・高音3つのバースト音を提示した(実験2, 3)。全刺激の提示時間間隔は2秒に設定した。これらの音の発生にはマルチトリガを用い、持続時間は100msで提示した。警告刺激は前傾・後傾で中音・高音を使用し、選択反応で3音すべてを使用した。

視覚刺激、電気眼球図および局所脳血流量の信号は、A/D変換器を介してサンプリング周波数1000Hz、分解能12bitでコンピュータに取り込んだ(実験1~3)。

### (3) 手順

被験者は、安静立位から目標位置へ1秒かけて前傾ないし後傾し、その位置で姿勢を1秒間保持し、次の1秒で安静立位に戻り、その姿勢を1秒間保持する、というパターンの姿勢運動を繰り返した(図1)。各姿勢運動の目標位置は、最前傾・最後傾位置より足長の5%内側とした。

実験1では、このような運動を、目標位置を示すブザー音有りて30秒間行った後、続けて本試行として、ブザー音無しで60秒間繰り返した。これを1セットとして、脳波の加算が20回に達するまでセットを繰り返した。

実験2および3における実験プロトコルは以下の通りである(図2): 運動時間は2分間とした。各運動の実施前に、被験者は椅子に座り、足底面を床に設置させた。背部の伸筋を可能な限り弛緩させる目的で、前方に設置した支持台上に下顎部を置いた。心拍数および眼球運動反応時

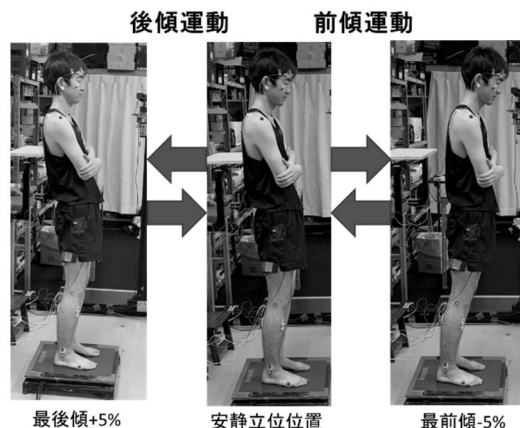


図1 前・後傾姿勢運動

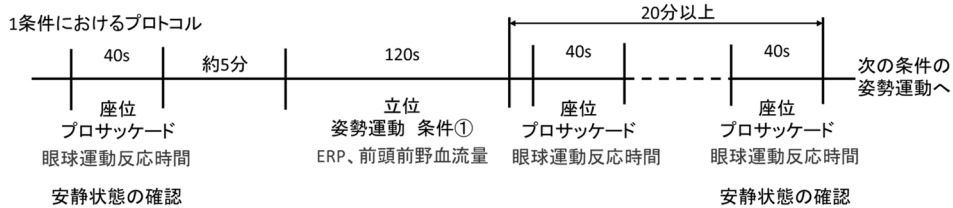


図2 実験2・3における実験プロトコル

間から安静状態であることを確認した。各運動終了後 30 秒以内に、座位にてプロサケット課題を 40 秒間実施した。各条件は、20 分以上の間隔をあけて実施した。

実験 2 において、姿勢運動は 3 条件設定した：前傾運動のみ（前傾）、後傾運動のみ（後傾）、前傾・後傾運動の選択反応（選択反応）。条件の実施順は、前傾・後傾を被験者ごとにランダムな順で実施し、最後に選択反応を実施した。各姿勢運動は、3 種類の音信号（高音・中音・低音）を合図に実施した。音信号は、2 秒間隔で提示した。前傾・後傾では、高音に対して前傾、あるいは後傾し、目標位置で姿勢を保持した。その後、中音によって安静立位位置へ戻った。選択反応では、高音もしくは低音と、中音を交互に提示した。被験者は、高音に対して前傾、あるいは低音に対して後傾し、その後提示される中音によって安静立位位置へ戻った。

実験 3 において、姿勢運動は前傾ないし後傾とした。加えて、目標位置付近で足底圧情報が増加する靴下を着用した条件にて、前・後傾姿勢運動を行わせた。

#### 4. 研究成果

実験 1 において、ERP は前傾開始に先行して陰性に立ち上がり、目標位置の直前まで比較的高い陰性電位を維持した。それに対して後傾では、目標位置直前まで徐々に陰性に増加した。いずれの条件でも、目標位置直前で急峻に陽性方向へ偏倚した。すなわち、前傾ないし後傾の目標姿勢位置付近で、ERP の最大値が認められた（図 3）。ERP の振幅は、前傾よりも後傾運動の方が有意に大きかった。後傾運動の方が前傾姿勢運動よりも、目標位置に注意がより多く向けられると考えられる。

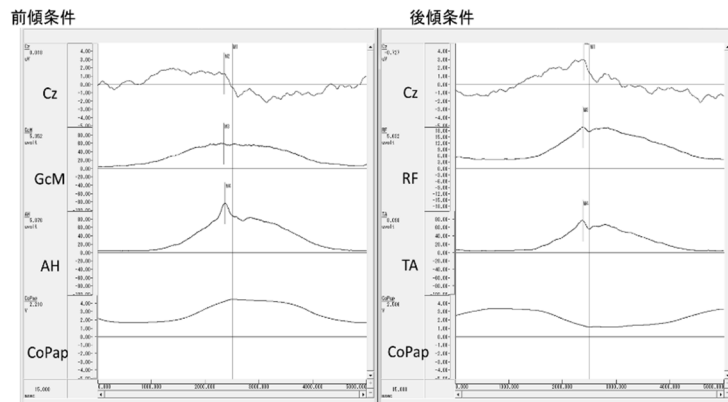


図3 実験1における前・後傾姿勢運動時のERP グランドアベレージ波形

実験 2 において、眼球運動反応時間は、いずれの条件でも、安静時に比べて姿勢運動後に有意に短縮した（前傾： $20 \pm 8.1$  ms、後傾： $17 \pm 12.6$  ms、選択反応： $17 \pm 8.8$  ms）（図 4）。これらの短縮値に有意な違いは認められなかった。各種の姿勢運動により、脳の活性化が生じたものと考えられる。活性化の程度は、条件間で違いがなかったことが示唆された。前頭前野血流量の変動パターンに顕著な左右差は認められなかった。いずれの条件でも運動開始より増加し、前傾および選択反応では約 35 秒、後傾では約 25 秒でピークに達した。その増加量は、選択反応 > 前傾 > 後傾の順に大きかった（図 5）。運動終了時の血流量は、ピークに対して、前傾が約 75%、後傾が約 95%、選択反応が約 20%であった。後傾の減少率が極めて小さく、選択反応の減少率が大きかった。ERP は、被験者によって陰性ピーク時点が異なった。目標位置への到達時点や姿勢運動の開

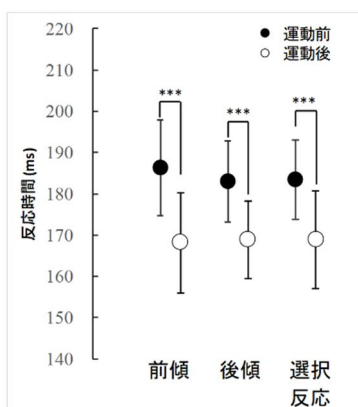


図4 実験2における眼球運動反応時間

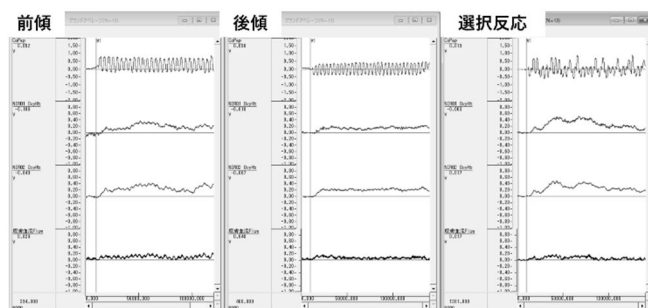


図5 実験2における前頭前野血流量

始時点、あるいは音信号の提示時点にピークが認められた。選択反応条件でそのピークが大きくなる傾向が認められた。

実験3において、左脳の血流量は、前傾では80s、後傾では60sまでに有意に増加した。眼球運動反応時間は、前傾・後傾運動により短縮した。その短縮値は、前傾で18ms、後傾で16msであり、条件間で有意差は認められなかった。足底圧情報を増加させた場合に、血流量は、前傾では40秒まで、素足に比べて少なかった。後傾では、どの時間帯でも、有意な増加が認められなかった。眼球運動反応時間は、前傾・後傾運動により短縮した。ただし、その短縮の程度は、素足の場合と比べて減少する傾向が認められた。高齢者において、足底圧情報を増した場合には、後傾において、注意を向ける必要性が少なくなったものと考えられる。脳の活性化は、弱まる傾向が認められた。

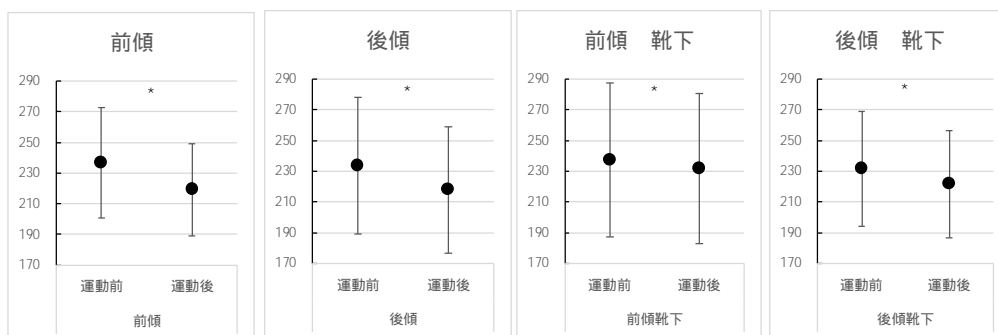


図5 実験3における眼球運動反応時間

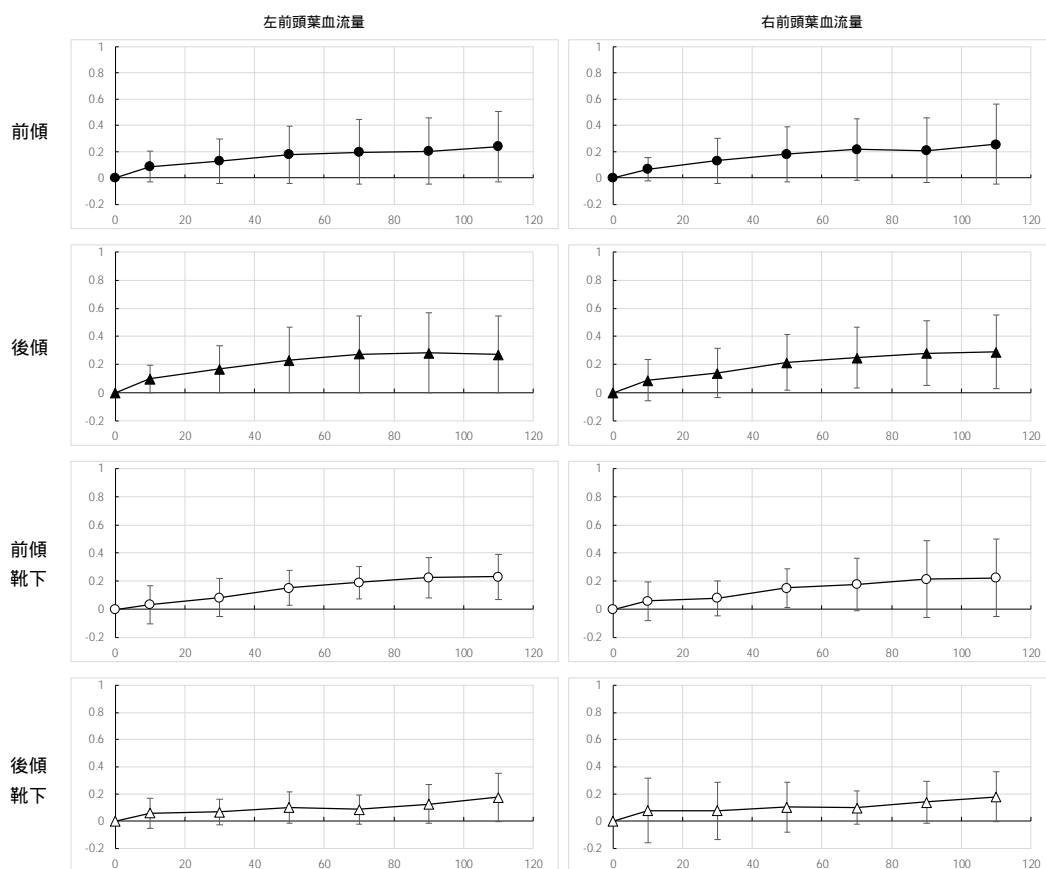


図6 実験3における前頭前野血流量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 佐藤文亮・藤原勝夫・矢口智恵	4. 巻 20
2. 論文標題 立位で圧力を変えて大腿前面皮膚を伸張したときの皮下組織の動態と姿勢応答	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 19-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村天・藤原勝夫・清田直恵・外山寛・藤本素子	4. 巻 20
2. 論文標題 立位における膝関節屈曲運動に伴う筋活動および関節音	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kunita Kenji, Fujiwara Katsuo	4. 巻 41
2. 論文標題 Influence of sports experience on distribution of pro-saccade reaction time under gap condition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40101-022-00277-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村天、藤原勝夫、清田直恵、外山寛、中村英里子	4. 巻 20
2. 論文標題 バレーボールのオーバーハンドパスにおける手首と手指の関節運動	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 109-117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kiyota Takeo, Fujiwara Katsuo	4. 巻 41
2. 論文標題 Age-related changes in the activation timing of postural muscles to the prime mover muscle for bilateral arm flexion during standing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-022-00295-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 阿南浩司・藤原勝夫・国田賢治・矢口智恵	4. 巻 18(2)
2. 論文標題 野球の投球動作の概観 身体各部位の協調運動と障害予防をふまえて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 75-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤原勝夫・清田直恵・外山 寛・中村 彩・中村 天・渡辺直勇	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 若年成人における骨盤傾斜に伴う脊柱弯曲変化の性差の三次元分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 藤原勝夫、清田直恵、外山寛
2. 発表標題 随意的な前・後傾運動時の位置感覚情報への注意と脳の活性化
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原勝夫
2. 発表標題 床振動時の予測的姿勢制御の適応能
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢口智恵、藤原勝夫、清田直恵
2. 発表標題 床移動課題時の視覚情報の有無が体性感覚誘発電位と姿勢制御に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第20回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原勝夫，清田直恵，外山寛
2. 発表標題 立位における脊柱湾曲度におよぼす姿勢改善ベッドパッドの使用効果
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢口智恵，藤原勝夫，清田直恵
2. 発表標題 床移動課題の難易度が体性感覚情報と姿勢制御に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 清田岳臣, 藤原勝夫, 清田直恵, 国田賢治, 阿南浩司, 矢口智恵
2. 発表標題 上肢運動前の重心位置と上肢運動時の予測的姿勢筋活動の関連性の年齢変化
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村天, 藤原勝夫, 清田直恵, 中村彩
2. 発表標題 安静立位からの膝関節屈曲運動の初期における筋活動および関節音
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤文亮, 藤原勝夫, 矢口智恵, 国田賢治, 阿南浩司, 清田直恵
2. 発表標題 大腿前面皮膚へ圧力を変えて伸張したときの皮下組織の動態と姿勢応答
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿南浩司, 藤原勝夫, 国田賢治, 佐藤文亮
2. 発表標題 回転椅子を用いた投球トレーニングが投球動作時の体幹・骨盤運動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 諸江真一, 藤原勝夫, 外山寛, 清田直恵
2. 発表標題 サッカーのインステップキック技能の熟練者と未熟練者の比較
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋いぶき, 藤原勝夫, 外山寛, 清田直恵
2. 発表標題 ウエイトリフティング競技におけるプッシュジャークの技能分析
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 国田賢治, 藤原勝夫, 矢口智恵, 阿南浩司, 佐藤文亮
2. 発表標題 国田賢治, 藤原勝夫, 矢口智恵, 阿南浩司, 佐藤文亮
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020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	矢口 智恵  (Yaguchi Chie)  (00612300)	日本医療大学・保健医療学部・教授   (30127)	

6. 研究組織（つづき）

	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	外山 寛  (Toyama Hiroshi)  (10172206)	金沢学院大学・人間健康学部・教授    (33305)	
研究分担者	国田 賢治  (Kunita Kenji)  (20316003)	札幌国際大学・スポーツ人間学部・教授    (30116)	
研究分担者	清田 直恵  (Kiyota Naoe)  (90559189)	金沢学院大学・スポーツ科学部・准教授    (33305)	

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