

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：34445

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11589

研究課題名（和文）上肢屈曲運動時の体幹制御の発達における規定要因の検討

研究課題名（英文）Investigation of developmental factor in trunk control during arm flexion

研究代表者

清田 岳臣（Kiyota, Takeo）

大阪総合保育大学・児童保育学部・教授

研究者番号：40434956

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：立位での上肢屈曲運動時の体幹制御の発達過程における規定要因について明らかにすることを目的とした。以下の要因について検討した； 上肢運動の力学的要因、 上肢運動開始前の体幹部の姿勢セット、 行為条件、 運動経験。幼児を対象に上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動を分析した。その活動は、上肢運動の力学的要因、行為条件、運動経験による影響を受けることが示唆された。しかしながら、その影響は主たる制御対象の姿勢筋である脊柱起立筋のみであり、大腿二頭筋では認められなかった。なお、体幹部の姿勢セットの姿勢筋活動への影響については、成人では測定できたものの、幼児での測定が困難であったため、引き続き検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、幼児における立位での上肢屈曲運動時の体幹制御が、上肢運動の力学的要因、行為条件、運動経験による影響を受けることを初めて明らかにした。これは、予測的姿勢制御の発達の研究史の中で、貴重な知見となるものである。この知見は、幼児期の子どもたちのバランス機能の向上を目指した発達段階ごとの運動遊びの考案や、それに関わる環境の設定にも寄与するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to investigate the factors that affect the development of trunk control for bilateral arm flexion during standing. The study examined the following factors: (1) arm movement dynamics, (2) postural set of the trunk before the arm movements, (3) behavioral condition, and (4) athletic experience. The analysis focused on the anticipatory postural muscle activity for arm flexion in children. The study found that in children, arm movement dynamics, behavioral condition, and athletic experience influenced muscle activity in the erector spinae, which primarily controls trunk posture, but not in the biceps femoris. However, the study suggested that further investigation is needed on the influence of the postural set of the trunk for the postural activity, as it was challenging to measure its effect in children despite being measurable in adults.

研究分野：運動生理学

キーワード：上肢屈曲運動時 予測的姿勢筋活動 幼児 重量負荷 体幹 運動経験 筋電図

### 1. 研究開始当初の背景

立位にて上肢を随意的に急速に運動する場合に、下肢および体幹の姿勢筋が上肢運動の局所筋に先行して活動を開始することは予測的姿勢制御と呼ばれている (Belen'kii et al., 1967)。これは上肢運動によって生じる立位姿勢の平衡の乱れを予測的に和らげるために、あらかじめ選択されたプログラムによって調節されると考えられている (El'ner, 1973)。上肢屈曲運動時に姿勢制御の対象となる主な姿勢筋は、成人では脊柱起立筋と大腿二頭筋であると報告されている (Bouisset and Zattara, 1981; Friedli et al., 1984; Aruin and Latash, 1995b; Fujiwara et al., 2007)。一方、下腿三頭筋には、明確な先行活動が認められず、むしろ活動の抑制が生じると報告されている (Bouisset and Zattara, 1981; Friedli et al., 1984; Fujiwara et al., 2007)。しかしながら、このような姿勢の主たる制御部位や制御様式は、環境の文脈に依存して変化することが報告されており (Cord and Nashner, 1982)、課題や発達段階によって、主たる制御対象となる身体分節が変化することを推察させる。

随意運動に伴う予測的姿勢制御の発達の变化については、これまで数多くの検討がなされてきた (Forssberg and Nashner, 1982; Riach and Hayes, 1990; Girolami et al., 2010)。最も低年齢の事例として、座位において、9 か月児がリーチング動作時に予測的な体幹筋の活動を示すことが報告されている (von Hofsten and Woollacott, 1990)。立位については、Witherington et al. (2002) は、10 ヶ月児が、つかまり立ち姿勢にてキャビネットのハンドルを牽引させた場合に、腓腹筋の予測的姿勢活動を示すことを明らかにした。独立立位では、姿勢保持時にハンドルを牽引させた場合に、1 歳 9 カ月の幼児が予測的な下腿筋活動を示すことが報告されている (Forssberg and Nashner, 1982)。立位での上肢屈曲運動課題では、7 歳以降の児童が成人に類似した筋活動および抑制パターンを示すことが報告されている (Girolami et al., 2010)。

しかしながら、これらの年齢に伴う発達の变化について詳細に検討した研究はこれまで認められなかった。そこで我々は、両側上肢屈曲運動時の姿勢筋活動の発達の变化の詳細について多数例のデータから検討し、以下のような知見を得た (Kiyota et al., 2015; 藤原と清田, 2017; 清田ら, 2017): (1) 上肢屈曲運動時の予測的姿勢制御の発達が、体幹・大腿・下腿でそれぞれ異なり、体幹筋の方が大腿筋より早く生じる。(2) 体幹筋は 5-6 歳で予測的姿勢制御が認められるが (図 1)、大腿筋がその制御に組み込まれるのは、15 歳以降であり、下腿筋はそのような制御を示さない。(3) 上肢屈曲運動時に、幼児および低学年の児童は足関節よりも体幹を大きく伸展させ、高学年の児童は全身を後傾させる姿勢変換様式を示す。

我々は、これら一連の検討のなかで、幼児における体幹筋の予測的姿勢制御の個体差について着目した。それは、約半数の幼児において、予測的姿勢筋活動が認められるものの、非常にばらつきが大きいため、特に 3 - 4 歳児では有意な先行活動が認められないという知見である。これは体幹部の予測的姿勢制御の発達に影響を及ぼす、年齢以外の諸要因の存在を推察させる。成人における上肢屈曲運動時の姿勢筋の活動様式の規定要因として、藤原 (2011) は、上肢運動の力学的要因、上肢運動開始直前にセットされた姿勢、上肢運動の行為条件、上肢運動時の姿勢運動様式を挙げている。しかしながら、これら規定要因と、上肢運動時の予測的姿勢制御の発達過程との関係については検討がなされていない。また、規定要因の一つとして、運動 (遊び) 経験の影響も考えられる。先行研究では、座位 (Hadders-Algra et al., 1996a, Hedberg et al., 2005) および立位 (Woollacott et al. 1987, Sveistrup and Woollacott 1996) における一過性の床移動時の姿勢制御に対する経験の影響について報告がなされている。したがって、上肢屈曲運動時の、体幹部の予測的姿勢制御の発達の規定要因の検討については、いまだ明らかにされていないといえよう。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、立位での上肢屈曲運動時の体幹制御の発達過程における規定要因について明らかにすることである。そのために、以下の要因の影響について検討することとした; 上肢運動の力学的要因、上肢運動開始前の体幹部の姿勢セット、行為条件、運動 (遊び) 経験。それぞれの要因を検討するために、上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動について、以下の研究 ~ を実施した; 【研究 1】重量負荷条件による姿勢要求の違い、【研究 2】下肢の制御が要求される通常の立位姿勢と体幹制御に焦点をあてた支持あり立位との違い、【研究 3】任意と反応条件による認知過程の違い、【研究 4】上肢屈曲運動時の体幹制御を含む運動経験による影響の違いによる影響。

### 3. 研究の方法

本研究は、研究 1 ~ 4 からなる。

#### (1) 研究 1

被験者は、成人 10 名と 4 - 6 歳児 5 名である。被験者には、LED の点灯に反応して、両側の上肢を任意の速度で前方水平位まで屈曲し、その位置を保持させた (図 1)。姿勢条件は、対照条件 (CTR) として、負荷なし条件 (安静立位) にて課題を実施させ、また、重量負荷条件として、成人では、両手手根部に体重の合計 1、3、5% の負荷を、幼児では、1% が



①安静立位姿勢を保持 (3秒)  
②検者の合図の後 2-5秒のランダムなタイミングでLEDが点灯  
③LED点灯に可能な限り早く反応し、素早く上肢屈曲運動を実施  
※30秒の休憩を挟み15試行実施 図1 上肢運動の手順

かかるようにして課題を実施させた。両課題ともに、上肢の屈曲は、両側の upper arm を速やかに最高速度で前方水平位まで屈曲させ、そののち、上肢の水平位置を 2 秒間保持させた。この試行は 30 秒間の休憩をはさんで 15 回行った。表面筋電図を用いて、三角筋前部線維 (AD) に対する姿勢筋 (前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋、大腿直筋、大腿二頭筋 (BF)、腹直筋、脊柱起立筋 (ES)) の活動開始時間を分析した (図 2)。姿勢筋が AD よりも早く活動を開始する場合を先行活動とし、負の値で表した。

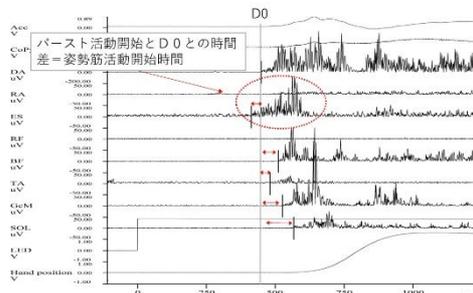


図 2 活動開始時間の分析

(2) 研究

被験者は成人 10 名である。被験者は LED の点灯に反応して、両側の upper arm を任意の速度で前方水平位まで屈曲し、その位置を保持した。立位条件は、体幹と下肢の両方の制御が要求される安静立位 (QSP) 条件と体幹制御に焦点をあてた支持あり立位である (図 3)。支持あり条件では、体重の 10%、20%、30% を両脚間の支持台に荷重させ、体幹部を支持した。荷重条件はランダムとした。上肢運動前の圧中心位置および股関節屈曲角度が、安静立位時と同様になるように指示した。各課題の上肢運動の手順および分析方法は研究 と同様である。

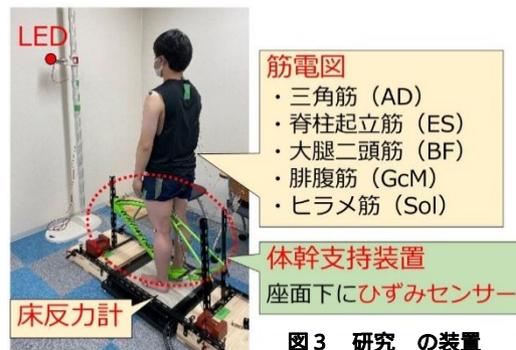


図 3 研究 の装置

(3) 研究

被験者は、若年成人 32 名からなる。単純反応課題では、被験者は、ブザー音による合図の 2-4 秒後にランダムに提示される視覚刺激に反応して、両側の upper arm を前方水平位に素早く屈曲した。自己ペース課題では、被験者は、ブザー音による合図の 3 秒以内に、自身のタイミングで両上肢の屈曲を開始した。各課題の上肢運動の手順および分析方法は研究 と同様である。

(4) 研究

被験者は、5 6 歳児 4 名である。安静立位条件で上肢屈曲運動課題を実施させた。運動経験として、1 日 10 回の上肢屈曲運動を週に 3 回以上、3 週間実施させた。運動経験前後で ES と BF の姿勢筋の活動開始時間を比較した。上肢運動の手順および分析方法は研究 と同様である。

4. 研究成果

(1) 研究

成人では、すべての条件において、ES と BF とともに、AD に対する先行活動を示した (図 4)。ES は重量負荷による影響を示さなかった。一方、BF では、CTR よりも 1% と 3% で有意に活動開始時間が短縮し、3% で最も先行するようになった。5% では CTR との有意差を示さなかった。GcM と SOL には先行活動はいずれの条件でも認められなかった。結論として、成人における単純反応課題における上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動は、条件に関わらず ES と BF に認められるが、重量負荷による影響は BF だけに認められた。したがって、重量負荷条件では、CTR 条件よりも、より ES と BF の連動した活動が必要となったことを示唆する。上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動に影響するための姿勢要求として、1 または 3% の重量負荷条件下での課題実施が適当であると考えられた。

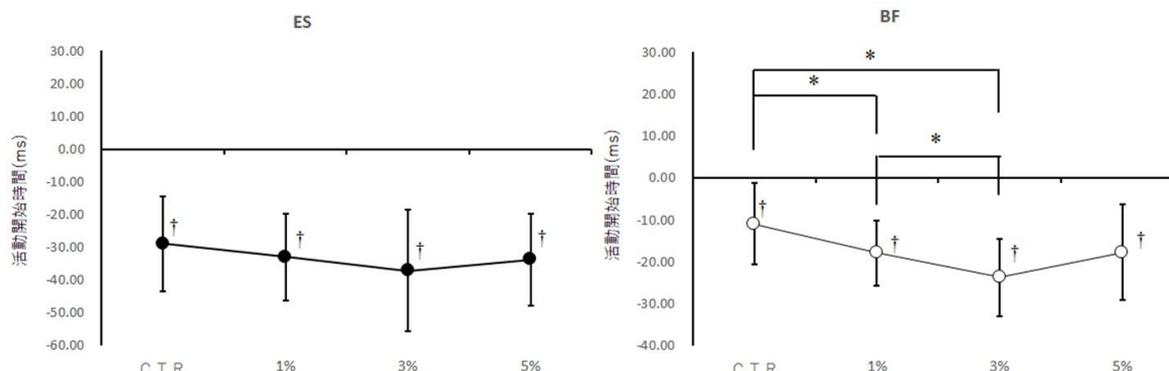


図 4 成人における姿勢筋の活動開始時間に対する重量負荷の影響 \* :  $p < 0.05$ ; † : D0 に対する有意差 ( $p < 0.05$ )

そこで、1% 条件について成人と幼児で比較を行った (図 5)。成人では、いずれの条件においても ES と BF とともに、AD に対する先行活動を示した。また、BF のみに、CTR と 1% で活動開始時間に有意差が認められた。一方、幼児では、ES のみに先行活動が認められ、CTR と 1% の間で活動開始時間に有意差が認められた。これらの結果より、成人では、負荷に対して、ES の先行

活動に加えて、BF の活動をより先行化することで適応したが、幼児では、ES のみをより先行化して適応したことが示唆された。

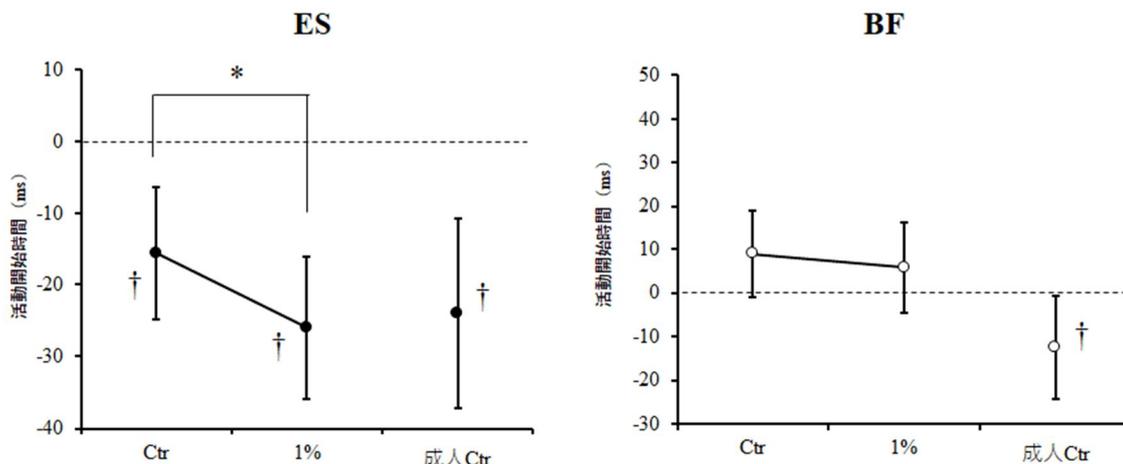


図5 幼児における姿勢筋の活動開始時間に対する重量負荷の影響 \*: $p < 0.05$ ; †:D0 に対する有意差( $p < 0.05$ )

### (2) 研究

QSP 条件では、ES・BF とともに AD に対して先行活動を示した。ES は支持にかかわらず有意な先行活動を示したが、20 および 30% 荷重のほうが QSP および 10% よりも先行活動が小さくなった。一方、BF では、10% 免荷以降に AD との有意差が認められなくなり、荷重が増大するにつれて、値が遅延するようになった。これらのことから、体幹部の支持の程度が、ES と BF の活動開始時間に影響することが明らかとなった。両筋ともに免荷重量が大きいほど、姿勢筋の活動開始時間が遅延する方向に変化するが、その影響は BF でより顕著であり、10% 以降で先行活動が認められなくなった。ES でも 20% 以降には、先行活動時間が小さくなるため、体幹筋に制御の焦点をあてるためには、荷重は体重の 10% に設定することが適切であると考えられた。ただし、本研究装置は、成人への適用には効果的であったものの、幼児での実施が困難であった。これについては、今後の検討課題である。

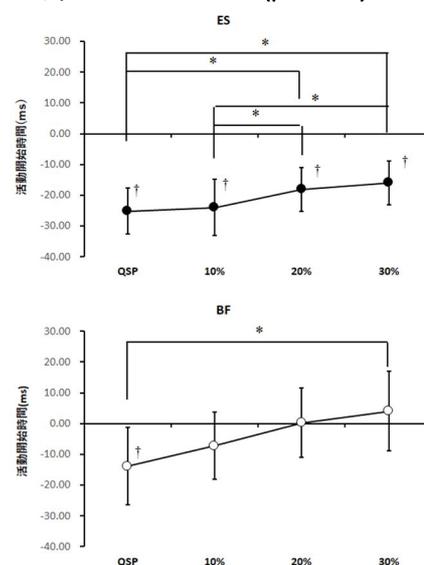


図6 成人における姿勢筋の活動開始時間に対する体幹免荷重量による影響

\*: $p < 0.05$ ; †:D0 に対する有意差( $p < 0.05$ )

### (3) 研究

成人では、行為条件ともに、いずれの筋においても D0 との有意差が認められ、ES と BF は、AD よりも先行して活動し ( $p_s < 0.001$ )、GcM と SOL は遅延して活動した ( $p_s < 0.001$ )。姿勢筋の活動開始時間には、行為条件間で有意差が認められ、いずれの筋も自己ペース課題のほうが、単純反応課題よりも先行して活動が認められた ( $p_s < 0.001$ ) (図7)。立位での上肢屈曲運動時の姿勢筋の活動タイミングは、時間的制約という行為条件による影響を受けることが明らかとなった。

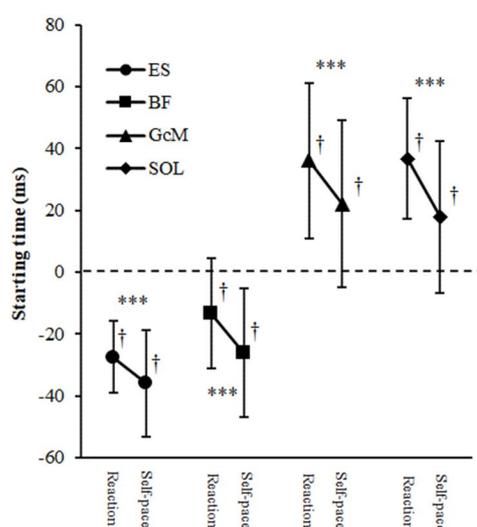


図7 成人における姿勢筋の活動開始時間に対する行為条件による影響

\*\*\*: $p < 0.001$ ; †:D0 に対する有意差( $p < 0.05$ )

しかしながら、課題理解という点で、特に年中児では、自己ペース課題の実施が困難であった。そこで我々は、予備的な検討として、年長児(6歳)と児童(12歳)を対象に、上肢屈曲運動時のESとBFの予測的姿勢筋活動について、反応課題と自己ペース課題との比較を行った(図8)。そこでは、6歳児ではESにおいて、12歳児ではBFにおいて、自己ペース課題での顕著な先行活動が確認できた。我々の先行研究(Kiyota and Fujiwara, 2022)では、6歳児のESの先行活動は、わずかであり、12歳児であってもBFの先行活動は認められていない。これらの予備実験の結果と先行研究を踏まえると、自己ペース課題と反応課題では、上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動の年齢変化が異なる可能性が推察される。また、反応課題よりも自己ペース課題のほうが、姿勢筋活動の先行化が早期の年齢で生じると推察された。

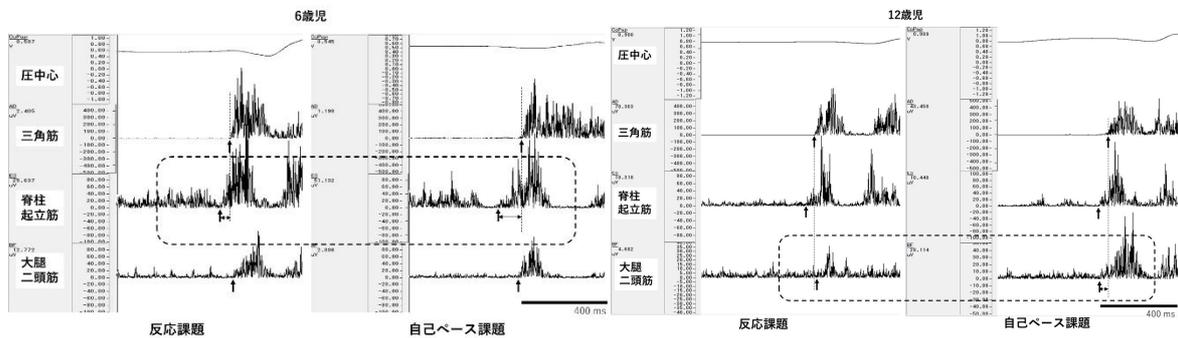


図8 6歳児と12歳児の上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動の行為条件による違い

(4) 研究

5-6歳児において、ESだけに先行活動が認められた(図9)。また、運動経験による影響がESのみに認められ、運動経験前後で活動開始時間に有意差が認められた。これらの結果は、5-6歳児の予測的姿勢筋活動に訓練効果があることを示しているが、それが主たる制御対象であるESのみにしか認められないことが示唆された。

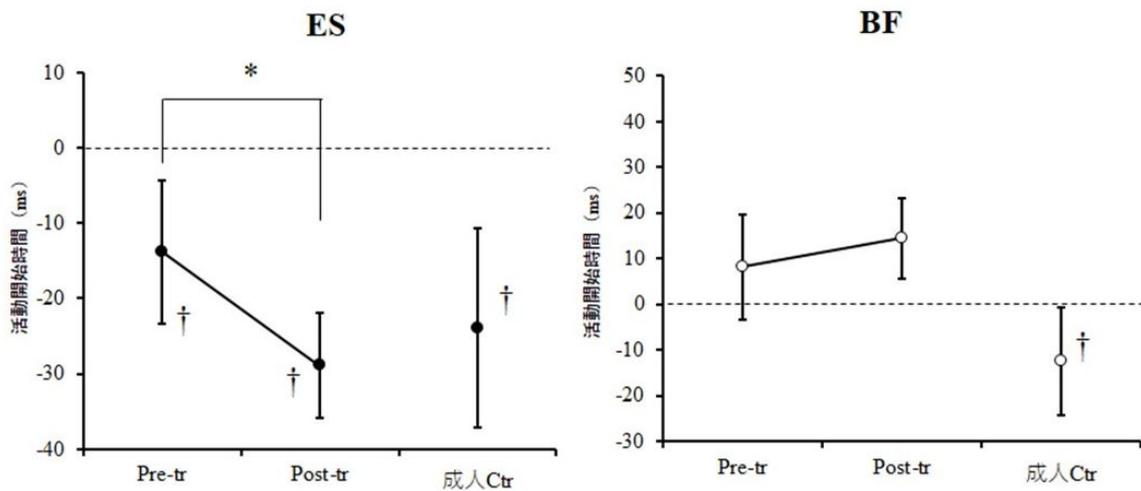


図9 5-6歳児における姿勢筋の活動開始時間に対する運動経験による影響 \*: $p < 0.05$ ; †: D0に対する有意差( $p < 0.05$ )

(5) まとめ

本研究では以下の知見が得られた。

成人では、重量負荷に対して、ESの先行活動に加えて、BFの活動をより先行化することで適応したが、幼児では、ESのみをより先行化して適応することが示唆された。

ES・BFともに免荷重量が大きいほど、姿勢筋の活動開始時間が遅延する方向に変化するが、その影響はBFでより顕著であり、10%以降で先行活動が認められなくなった。体幹筋に制御の焦点をあてるためには、荷重は体重の10%に設定することが適切であると考えられた。幼児への適用法については、今後の検討課題である。

成人では、ESとBFともに行為条件による影響が認められ、自己ペース課題のほうが、反応課題よりも活動開始時間が早くなった。一方、年長児ではESのみに同様の影響が認められ、児童ではBFのみに認められた。自己ペース課題における姿勢筋活動の先行化が早期の年齢で生じる可能性がある。

幼児において、上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動に対する運動経験による影響は、ESのみに認められ、BFには認められなかった。訓練効果は、それが主たる制御対象であるESのみにしか認められないことが示唆された。

全体として、幼児における体幹制御に関わる姿勢筋活動は、上肢運動の力学的要因、行為条件、運動経験による影響を受けることが示唆された。しかしながら、その影響は、主たる制御対象の姿勢筋であるESのみであり、BFには認められなかった。これらの要因と年齢との相互作用および詳細な年齢変化については、今後の検討課題である。また、上肢運動開始前の体幹部の姿勢セットの影響については、成人では認められたものの、幼児での実施が困難であったため、実施可能な方法を引き続き検討していく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 清田 岳臣、藤原 勝夫	4. 巻 1
2. 論文標題 単純反応と自己ペース課題での両側上肢 屈曲運動時の姿勢筋の活動タイミング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 大阪総合保育大学児童保育論集	6. 最初と最後の頁 15-22
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 無
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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 清田岳臣、藤原勝夫、中村天、伊禮まり子、中村彩
2. 発表標題 重量負荷条件による姿勢要求の違いが上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第22回学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清田岳臣
2. 発表標題 立位での上肢屈曲運動時の予測的姿勢制御の発達.
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会シンポジウム. 子どもの心身の発達 (S1-4) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清田岳臣, 藤原勝夫, 伊禮まり子
2. 発表標題 体幹制御に焦点をあてた支持あり立位時の上肢屈曲運動に伴う予測的姿勢筋活動
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 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 安静立位時の重心位置と上肢屈曲運動時の予測的姿勢筋活動の年齢変化
3. 学会等名 日本健康行動科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清田岳臣, 藤原勝夫, 中島有惟, 国田賢治, 阿南浩司, 矢口智恵, 清田直恵.
2. 発表標題 上肢屈曲運動時の姿勢変換型の発達的变化
3. 学会等名 日本健康行動科学会
4. 発表年 2019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	藤原 勝夫  (Fujiwara Katsuo)  (60190089)	金沢学院大学・スポーツ科学部・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
---------	---------