

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：31310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10755

研究課題名(和文)重力方向への動作における重心軌道形成の最適化に関する研究 - 着座動作に着目して

研究課題名(英文) Study on optimization of the center of gravity trajectory in motion to gravity direction: focusing on stand to sit motion

研究代表者

藤澤 宏幸 (FUJISAWA, HIROYUKI)

東北文化学園大学・健康社会システム研究科・教授

研究者番号：20316425

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)：本研究は着座動作に着目し、重力方向への軌道形成における最適関数を明らかにすることを目的とした。第一実験では、座面幅が着座動作へ与える影響を検討した。第二実験では座面までの距離が着座動作へ与える影響を検討した。第三実験では座面の材質と運動速度が着座動作へ与える影響を検討した。第四実験では座面高が着座動作へ与える影響を検討した。結論として、着座動作は環境要因によらず不変軌道を形成しており、運動効率性と安全性を両立した多目的最適化に基づいていることが示された。さらに、この安全性を担保するためには見込み制御が重要であり、重力方向への運動軌道形成の特異性を示唆する結果であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

抗重力方向への軌道形成における最適化については多方面から検討されているが、重力方向への軌道形成における最適化については未だ検討されていない。本研究が重力方向への軌道形成における最適解を明らかにすることは、理学療法場面の動作再建において非常に有益な知見となる。特に、重力方向への動作は少しの見込み誤差であっても危険性が增大する。骨の脆弱化が進行している者では適切な着座時の衝撃力であっても脊椎圧迫骨折を受傷する可能性もある。本研究結果は着座動作の危険性を再認識すると共に、リハビリテーション医療(理学療法)における重力方向への運動課題における動作再建の重要性を示すものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Focusing on back-to-sit (BackTS) motion, the purpose of this study was investigated about optimization for the trajectory formation in downward direction. At the first experiment, the effect of the seat width on BackTS motion was examined. At the second experiment, the effect of the distance to a chair on BackTS motion was examined. At the third experiment, the effect of the seat material and movement speed on BackTS motion was examined. At the fourth experiment, the effect of the seat height on BackTS motion was examined. In conclusion, it was indicated that BackTS motion was formulated the invariant trajectory regardless of environment factors. This was satisfied both efficiency and safety simultaneously which depend on the multi-objective optimization. And the estimated strategy was important for it. These results were suggested to be the task specificity of the trajectory formation in downward direction.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：着座動作 重力方向 運動等価性 多目的最適化 エネルギーコスト 効率性 安全性 見込み制御

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 抗重力方向へ形成される日常生活動作の再建においては、相互作用トルクの効率的な活用を含めたエネルギーコストの最適化(最小化)が重要とされている。一方、重力方向への動作の最適化を検討した報告は不足しているのが現状である。重力方向への動作は、衝撃力が身体に作用する点が抗重力方向への動作と異なる。この衝撃力が大きい場合、運動軌道を形成するエネルギー消費が例え削減できても、危険性が増大し、結果的に生じるコストは大きくなってしまう。そのため、重力方向への動作においては、エネルギーコスト最適性の原理が必ずしも当てはまるわけではなく、安全性(衝撃力の最小化)に拘束された軌道形成が成されているものと推測される。

(2) 重力方向へ形成される日常生活動作は、着座動作が代表的である。着座動作は前方を向いたまま後方に位置する椅子に向かって着座するため、視覚的なフィードバック情報が不足する。故に、着座動作は事前に衝撃力を見込んだ軌道形成、すなわち見込み制御に基づいている可能性が高い。特に、この衝撃力は環境要因に依存するため、安全に着座動作を遂行するためには事前に椅子構造をも見込んだ軌道形成が重要となる。そのため、本研究では着座動作の最適化を検証する上では環境要因が着座動作の軌道形成に与える影響について検証し、見込み制御の存在を明らかにする。

(3) また、見込み制御の良し悪しは、見込み誤差の正確性に依存するものと推測される。しかし、着座動作課題の正確性を向上させるためには、この見込み誤差を瞬時に検知し、危険回避運動が生じる必要がある。実際に、動作速度を制御できず後下方へ転倒してしまうことを経験する。着座動作の転倒予防のためにも、本研究では見込み誤差を意図的に生じさせた時の危険回避運動について検討する。

### 2. 研究の目的

上記の目標を達成するために以下の4つの研究を実施した。

#### (1) 第1研究

座面幅と着座動作の軌道形成の関係性を明らかにすることを検討した。

#### (2) 第2研究

椅子までの距離と着座動作の軌道形成の関係性を明らかにすることを検討した。

#### (3) 第3研究

座面材質と運動速度が着座動作の軌道形成に与える影響を明らかにすることを検討した。

#### (4) 第4研究

座面高が着座動作の軌道形成に与える影響について明らかにすることを検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 第1研究

健康成人男性10名(年齢 $22.3 \pm 2.8$ 歳, 身長 $171.3 \pm 6.1$ cm, 体重 $65.8 \pm 7.9$ kg)を対象とした。取り込み基準として膝・腰部に整形外科疾患, 神経学的疾患を有していない者とした。対象者には研究の目的および方法を十分に説明した後, 書面によって同意を得た。また, 東北文化学園大学倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号: 文大倫第 18-06号)。

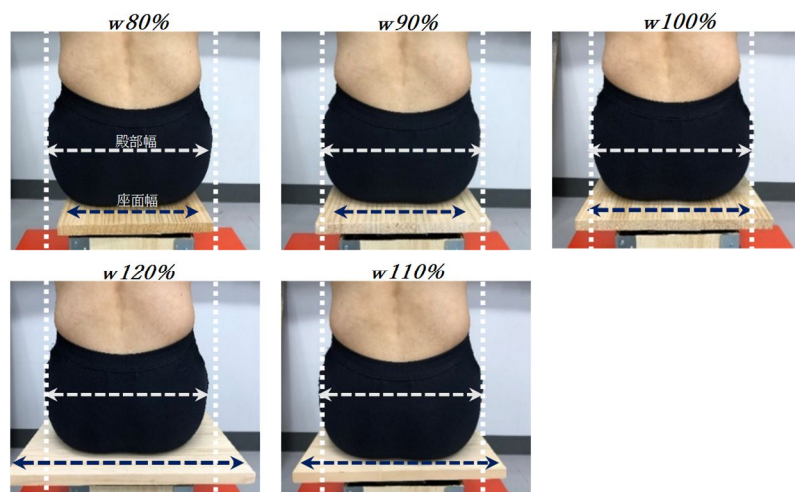


図1: 第1実験で使用された異なる座面幅条件

三次元動作解析装置にて両肩峰，上前腸骨棘，大転子，大腿骨外側上顆，外果，第5中足骨頭の計12箇所に貼付した各座標マーカー位置を測定し，体重心（COG）変位，COG速度を算出した。椅子装置下に床反力計を設置し，着座時の衝撃力（FR）を測定した。座面幅条件は，各対象者の殿部幅の長さ当たる座面幅を100%条件とし，80，90，100，110，120%の計5条件に設定した（図1）。その際，座面材質は木製（木彫），座面奥行き40cmに統一し，座面幅（横幅）は1cm刻みの25～50cm幅で計26個の座面を作成して対応した。椅子から対象者までの距離は大腿長の40%に相当する距離とし，座面高は腓骨頭の高さとした。本研究課題は着座動作課題後にアンケート調査を設け，「あなたのお尻幅と比べて座面の横幅はどのように感じましたか？」という質問に対し，（1）狭い，（2）少し狭い，（3）普着通，（4）少し広い，（5）広い，の計5項目から選択法にて回答した。

## (2) 第2研究

健常成人男性10名(年齢 $21.5 \pm 2.0$ 歳，身長 $169.7 \pm 3.5$ cm，体重 $63.5 \pm 9.0$ kg)を対象とした。取り込み基準として膝・腰部に整形外科疾患，神経学的疾患を有していない者とした。対象者には研究の目的および方法を十分に説明した後，書面によって同意を得た。また，東北文化学園大学倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：文大倫第18-01号）。

第1研究と同様に，三次元動作解析装置にて各座標マーカー位置を測定し，椅子装置下に床反力計を設置した。使用した椅子構造は第1研究と同様とした。第1研究では異なる座面幅条件においてもCOG軌道に影響は示されなかった。そのため，第2研究では座面幅を各対象者の殿部幅の120%に設定した。座面までの距離条件は大腿長の40%，50%，60%，70%，80%に当たる距離とし，計5条件に設定した（図2）。座面までの距離の影響を比較するため，所要時間，平均速度，Jerk costを運動時間と運動距離で補正したJerk index，FR，股関節，膝関節，足関節の各関節角度を算出し，座面までの距離条件毎に比較した。

## (3) 第3研究

健常成人男性10名(年齢 $21.4 \pm 2.1$ 歳，身長 $173.3 \pm 6.6$ cm，体重 $69.7 \pm 10.0$ kg)を対象とした。取り込み基準として膝・腰部に整形外科疾患，神経学的疾患を有していない者とした。対象者には研究の目的および方法を十分に説明した後，書面によって同意を得た。また，東北文化学園大学倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：文大倫第19-11号）。

第1，2研究と同様に，三次元動作解析装置にて各座標マーカー位置を測定し，椅子装置下に床反力計を設置した。第1，2研究では異なる座面幅，座面までの距離の影響は示されなかった。そのため，第3研究では座面幅を40cm，座面までの距離を大腿長の40%に当たる距離に設定した。座面材質条件は木製の硬い座面（Wood条件）とスポンジ素材の柔らかい座面（Sponge条件）の2条件とし，これら2つの座面は材質以外の大きさや色は全て統一した（図3）。速度条件は遅い，普通，速い（Slow，Normal，Fast）の3条件に設定した。安全性の指標としてFR，効率性の指標としてJerk indexをそれぞれ算出し，これらを計6条件で比較した。なお，Sponge条件では沈み込みが生じるため，COG軌道を座面材質間で比較する場合，COGデータは運動開始した点から座面接地した点で切り取って比較検討した。

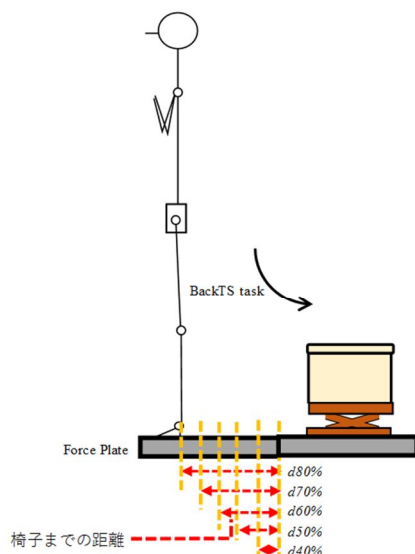


図2：第2実験で使用された異なる距離条件

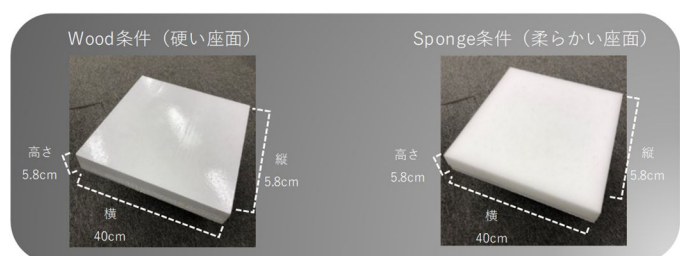


図3：第3実験で使用された異なる座面材質条件

#### (4) 第4研究

健康成人男性 5 名 ( $24.2 \pm 0.8$  歳,  $174.2 \pm 6.1$ cm,  $64.2 \pm 1.8$ kg) を対象とした。取り込み基準として膝・腰部に整形外科疾患, 神経学的疾患を有していない者とした。対象者には研究の目的および方法を十分に説明した後, 書面によって同意を得た。また, 東北文化学園大学倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号: 文大倫第 20-11 号)。

第 1, 2 研究と同様に, 三次元動作解析装置にて各座標マーカー位置を測定し, 椅子装置下に床反力計を設置した。着座環境は第 3 研究と同様とし, 座面幅 40cm の木彫の座面を使用した。測定条件は各対象者の腓骨頭の高さに当たる座面高を Normal 条件とし, Normal 条件から座面高を 5cm 下げたものを Down 条件とした計 2 条件に設定した (図 4)。対象者は至適速度での着座動作課題を Normal 条件で 9 回試行した後に, Down 条件 1 試行を実施した。正し, 対象者には 10 項目通じて Normal 条件課題を実施することが教示されており, これによって意図的に座面高の見込み値に誤差を生じさせた。なお, 運動教示は全てノイズキャンセリングを使用し, 座面を下げたことが対象者にわからないように工夫した。Down 条件での危険回避運動 (Risk Aversion Movement: RAM) 起動の例として, 急激な下方への加速に対する減速が挙げられる。そのため, 第 4 研究では「Down 条件で膝関節の角速度が減速に転じた時間」を算出。次に, この時間と「Normal 条件で本来座面接地した時間」, または「Down 条件で実際に座面に接地した時間」の差異時間をそれぞれ算出した。すなわち, 前者の差異時間が正, かつ後者が負の場合, 落下中に誤差が検出され RAM が起動したことを示す。また, 着座時の FR を算出し, 各条件間で比較した。

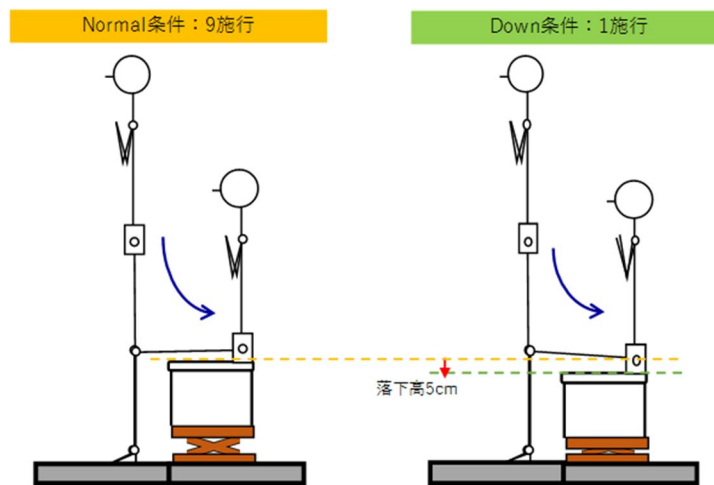


図4: 第4実験で使用された異なる距離条件

### 4. 研究成果

#### (1) 第1研究

座面幅の変動に対し, アンケート結果では各対象者が自己の身体 (殿部幅) との相対的な比較がある程度適切になされていることが示された。その一方で, COG 変位, 速度プロフィールは座面幅の大小に関わらず同様の軌道形成を示し (図 5), FR にも座面幅条件毎の有意差は示されなかった。すなわち, この範囲内の変動に対しては, 安全性が担保されているものと認知されることで運動戦略に変化が生じなかったものと推察された。

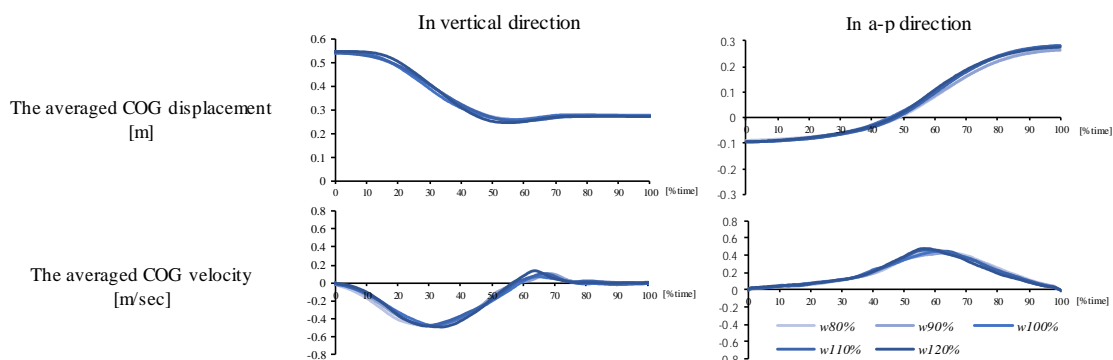


図5: 異なる座面幅条件毎のCOG変位と速度プロフィールの比較

## (2) 第2研究

第1研究の結果を踏まえ、座面幅を統制した中で座面までの距離の影響を検証した。座面までの距離の増加に対し、所要時間に有意差は認められなかったにも関わらず、後方への平均速度のみが有意に増加していた(図6)。そこで、averaged COG 軌道の開始点を0%、終了点を100%として標準化すると、normalized COG 軌道は座面までの距離が異なるに関わらず不変的な軌道変化を示した。さらに、この時のエネルギーコストにも有意差を認めず、各体節協調性は着座するまで線形関係を示した。FRは距離増加に伴い有意に増加したが、最も遠い距離条件でも体重比の約1.6倍だった。つまり、安全性が担保されているのであれば、着座動作もまた運動等価性の原理に従っており、速度調整能によって達成されているものと考えられた。この特徴はリーチ動作の軌道形成と非常に類似しており、リーチ動作は手を、着座動作は殿部を対象物に向かってreachingする。したがって、第2研究は着座動作を身体の接触型安定課題として再考する必要性を示唆し、着座動作が立ち上がり動作と全く異なる性質を有する課題であることを示した。

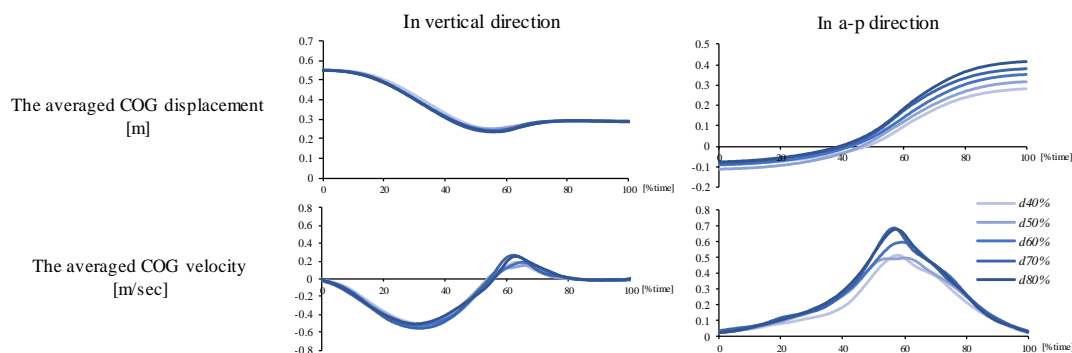


図6：異なる座面幅条件毎のCOG変位と速度プロファイルの比較

## (3) 第3研究

第1, 2研究の結果を踏まえ、座面幅、座面までの距離を統制した中で座面材質、運動速度の影響を検証した。COG軌道に着目すると、座面材質条件間では同様の軌道変化が示された。そこで、Wood条件に限定して速度条件間を比較すると、Normal条件のCOG軌道からSlow条件は下方へ、Fast条件は後方へ逸脱するような軌道変化を示した。Jerk indexとFRには反比例のトレードオフ関係が示され、Normal条件はこの2変数間を両立する一定の解集合を形成していた。すなわち、日常的に遂行される着座動作は、効率性と安全性を両立した多目的最適化に基づいて形成されている可能性が示唆された。着座動作は「身体の落下」と「身体の接触」を伴うため、常に危険と隣り合わせとなる。そのため、機能障害を有さない健常成人においても、見込み制御によって安全性を射程に入れた軌道形成が成されており、これら結果は重力方向への動作の課題特異性に即した結果と考えられた。また、速度条件によって運動軌道が変調した点は、着座動作がバランスに拘束されていることを示唆しており、この点は立ち上がり動作と類似する結果と考えられた。

## (4) 第4研究

第1, 2, 3研究の結果を踏まえ、座面幅、座面までの距離、座面材質、運動速度を統制した中で座面高の影響を検証した。Down条件にて意図的に見込み誤差を生じさせた環境下において、健常者は正常にRAMが起動していた。RAMは本来着座するはずだった時間から $0.15 \pm 0.06$ 秒遅れて起動した。しかし、実際に着座し終える時間よりもわずかに $0.03 \pm 0.01$ 秒早く起動する程度だった。これは軌道修正する時間的猶予が既にあることを意味する。さらに、Down条件のFRはNormal条件の約2倍あり、その時身体には自身の体重比の約2倍にも及ぶ力が作用していることが明らかになった。つまり、正確かつ安全に着座動作課題を達成するためには、見込み誤差最小が必要条件となることが考えられた。特に、僅か約5cmの見込み誤差であっても危険性が増大してしまう点は非常に興味深く、臨床上観察される着座動作の失敗例と一致する。その一方で、RAM起動まで時間を要したことに加え、起動したとしても軌道修正が困難であることを考慮すると、着座動作の軌道形成は最大でも約5cmの許容範囲(見込み誤差)があり、見込み誤差が生じたとしても対応可能な運動軌道を事前に計画しているものと考えられた。このような点からも、着座動作における見込み制御の重要性を支持する結果であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 1件）

1. 著者名 Yoshida T, Fujisawa H, Kanda M, Suzuki H, Suzuki M	4. 巻 33
2. 論文標題 The effect of perception of seat width on back-to-sit task	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 164-167
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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田高幸, 大場勇輝, 神田優, 鈴木博人, 鈴木誠, 藤澤宏幸
2. 発表標題 着座動作の運動等価性の証明
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田高幸, 神田優, 藤澤宏幸
2. 発表標題 着座動作における運動軌道形成について～座面幅による影響に着目して～
3. 学会等名 第24回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田高幸, 大場勇輝, 藤澤宏幸
2. 発表標題 着座動作の運動軌道形成における多目的最適化
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021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	鈴木 博人 (SUZUKI HIROTO) (50635430)	東北文化学園大学・医療福祉学部・講師  (31310)	
研究分担者	村上 賢一 (MURAKAMI KENICHI) (60433520)	東北文化学園大学・医療福祉学部・准教授  (31310)	
研究分担者	鈴木 誠 (SUZUKI MAKOTO) (90382697)	東北文化学園大学・医療福祉学部・教授  (31310)	

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
---------	---------