

【事業名】 動的バランス課題を用いたロコモ判別式の開発～身体バランス測定会

要約

【目的】 体力テストの実用化にはテストの再現性が必要条件になるが、開発中の動的バランステスト（交互片脚立ちテスト）に関してはテストの再現性が検証されていなかった。そこで、本事業では、動的バランス指標として交互片脚立ちテストの骨盤前後傾の角速度自己相関係数(acorr_aac_y)の再現性を検証することを目的とした。また、交互片脚立ちテストの acorr_aac_y を用いて作成したロコモ判別式による判別の中率の再現性についても検討することとした。【対象者】 令和 4 年度と令和 5 年度の身体バランス測定会に参加した高齢者 36 名（男性 8 名，女性 28 名，年齢 71.3 ± 5.9 歳）とした。【結果と考察】 両年度間で交互片脚立ちテストの acorr_aac_y 平均値に差は認められなかった。また、両者の間には強い正の相関関係が認められたことから acorr_aac_y の再現性が確認された。しかし、この指標を用いたロコモ判別式の判別の中率は令和 4 年度に比べて令和 5 年度は低下した。本式によるロコモの判別の中率には動的バランス能力(acorr_aac_y)が影響するが、令和 4 年度の身体バランス測定会後の結果説明会で筋トレのロコモへの有効性を説明したことにより、令和 5 年度には動的バランス能力とは無関係に下肢筋力の増強によりロコモ度が改善された対象者が 6 名(16.7%)存在したことがロコモの判別の中率に不一致が生じた要因と考えられた。【今後の展望】 今後も身体バランス測定会の継続参加者では、動的バランス能力に変化がなくても下肢筋力の増強によりロコモ度の改善が生じる可能性があるため、ロコモ判別の中率の再現性を検証することは難しいと考えられる。現時点では、本式によるロコモの判別性能が社会実装レベルには至っていないことが課題である。このため今後は、新規参加者を対象に交互片脚立ちテストのサンプル数を増やすことによりロコモの判別性能の向上を図る。特に、偽陰性率の改善を図るため交互片脚立ちテストの難易度を下げる修正を行い、本法の判別性能を社会実装レベルまで改善することに重点をおく。

I 事業の背景と目的

バランス能力には静的と動的の側面があり、動的バランス能力は身体重心の移動を伴う動作における重心制御能力と定義される。これまでに我々が行った疫学的研究により、高齢者では日常生活動作や歩行能力に先行して動的バランス能力が低下することが示されている。このため、ロコモティブシンドローム（以下、ロコモ）該当者でも立ち上がりや歩行といった移動能力に先行して動的バランス能力の低下が生じる可能性が懸念される。しかし、これまでフィールドで動的バランス能力を簡便かつ定量的に評価する方法がなかったためロコモと動的バランス能力の関係性は不明だった。

我々は、2019 年より地域の高齢者を対象に、交互に片脚立ちを繰り返す課題における身

体の動揺性を腰部の加速度情報により評価する方法を考案し検討を進めてきた。これまでに、泉大津市民 71 名を含む 263 名の高齢者を対象とした身体バランス測定により、交互片脚立ちテストにおける骨盤の前後傾・角速度の自己相関係数（動的バランス指標）は、ロコモ度の進行に伴い有意に低下することが示されたことから、この指標によりロコモを判別することができないか検討を進めている。

一般的に、体力テストの実用化にはテストの再現性が高いことが必要条件になるが、交互片脚立ちテストに関してはこれまでテストの再現性が検証されていなかった。そこで、本事業では、令和 4 年度の身体バランス測定会の参加者を対象に、交互片脚立ちテストにおける骨盤の前後傾の角速度自己相関係数（動的バランス指標）の再現性を検証することを目的とした。また、令和 4 年度に作成したロコモ判別式を令和 5 年度の参加者に適用することにより、両年度間の判別の中率の再現性を検討することを目的とした。

II 事業の実施状況

1. 被験者の募集及び参加状況

本事業の除外基準は以下の通りである。①循環器疾患（脳梗塞，脳出血，心筋梗塞など）を有していること ②神経疾患（パーキンソン病，多発性硬化症など）を有していること，③運動に支障を来すほどの重篤な整形外科疾患（椎間板ヘルニアや脊椎分離症などの腰部障害，変形性関節症，リウマチ，痛風，重度の骨粗鬆症など）を有していること。④認知症等，自身で研究参加の可否が判断不能であること。

本事業の対象者は、令和 4 年度の身体バランス測定会を受けた 71 名の高齢者とした。2023 年 7 から 8 月に、泉大津市成長戦略課の職員により、令和 4 年度の身体バランス測定会を受けた高齢者に令和 5 年度身体バランス測定会の案内を行った。この結果、41 名から参加の申し込みがあった。このうち、テスト当日に体調不良や自己都合により欠席した 5 名を除く 36 名と新規参加の 1 名を合わせた 37 名が測定会に参加した。

以下に、身体バランス測定会の実施日と参加者数を示す。

2023 年 8 月 21 日：16 名、8 月 22 日：13 名、8 月 28 日：8 名

2. 事業の実施体制

身体バランス測定会の実施体制は、保健師 1～2 名，大学教員 2～3 名，大学院生 3～4 名，運動指導員 2 名から構成される 9～10 名体制（内，有償スタッフは 7 名）とした。それぞれの役割は以下の通りである。保健師：ヘルスチェックの実施，研究への同意，体力測定記録用紙，各種アンケートの記入サポートや記入漏れ等のチェック。大学教員と大学院生：床反力計や加速度センサーを用いたバランス測定の実施。運動指導員：ロコモ度テスト，サルコペニア診断，その他バランステストの実施。

3. 身体バランス測定会の実施方法

身体バランス測定会はテクスピア大阪ミニホールで行った。実施時間は、10時30分～、12時30分～、13時30分～、14時30分～の4セッションとし、1セッション当たりの所要時間は90分、定員は5名とした（1日当たり定員20名）。

身体バランス測定会当日の流れは以下の通りである。①受付及び開始前のヘルスチェック（血圧・脈拍測定、体調チェック） ②インフォームド・コンセント（同意書への署名）及びアンケートの記入 ③体力測定（1～2名単位で各コーナーをローテーション） ③終了後のヘルスチェック

4. 身体バランス測定の方法

身体バランス測定の方法は以下の通りである。

1) サルコペニア診断（AWGSの診断基準に基づく）

1. 5m歩行テスト：5mの歩行路を通常歩行した時の所要時間を歩行速度(m/秒)に換算し、歩行速度が1.0m/秒未満をサルコペニアのリスクありと判定した。また、サルコペニア診断の基準には含まれていないが、本調査では最大歩行速度についても測定した。リスク判定のためのカットオフ値は、男性：1.40m/秒未満、女性：1.35m/秒未満とした。
2. 握力：左右各2回測定し、最大値が男性26kg未満、女性18kg未満をサルコペニアのリスクありと判定した。
3. 骨格筋指数（SMI：四肢骨格筋量[kg]/身長[m]²）：インピーダンス(BIA)法により推定した四肢骨格筋量を身長²で除した値(SMI)が、男性7.0未満、女性5.7未満をサルコペニアのリスクありと判定した。

本事業では、AWGSの診断基準に基づき、歩行速度または握力のどちらかにリスクがあり、かつ、骨格筋指数にリスクがあった場合をサルコペニア該当と判定した。

2) ロコモ度テスト（日本整形外科学会の臨床判断値に基づく）

1. 立ち上がりテスト：対象者は、両腕を胸の前で組み、40～10cmの台から両脚または片脚で起立する。40cm台から片脚で起立できなかった場合をロコモ度1、20cm台から両脚で起立できなかった場合をロコモ度2、30cm台から両脚で起立できなかった場合をロコモ度3と判定した。
2. 2ステップテスト：できる限り歩幅を広げて2歩ステップした時の距離を身長で除した値（2ST値）。2STは2回実施し、大きい方の値を代表値として採用した。2ST値が1.3未満の場合をロコモ度1、1.1未満の場合をロコモ度2、0.9未満の場合をロコモ度3と判定した。
3. ロコモ25：過去1ヶ月間の身体の痛みや活動のつらさに関する4項目、日常生活活動の困難度に関する16項目、社会生活機能に関する3項目、転倒や移動能力への不安に関する2項目からなる質問票に自己記入する主観的包括尺度である。ロコモ25では、痛みや日常生活の困難度など25の質問に対して、0（なし）から4（重度）の

5段階で評価し、合計点（0～100点）を算出する。ロコモ25の合計点が大きいほど移動機能の低下が進行していることを表し、合計点が7点以上15点以下ではロコモ度1、16点以上23点以下ではロコモ度2、24点以上ではロコモ度3と判定される。

4. ロコモチェック

日常生活の困難度に関する7つの質問に対して、はい・いいえで答えるアンケート。一つでもあてはまる場合、ロコモ該当とされる。

本事業におけるロコモ該当の判定方法は下記の通りである。

その1：日本整形外科学会の推奨基準に基づき、立ち上がりテスト、2ステップテスト、ロコモ25のいずれかが臨床判断値に該当した場合、ロコモ度（ロコモ度1、ロコモ度2、ロコモ度3）該当と判定した。

その2：立ち上がりテストまたは2ステップテストのどちらかが臨床判断値に該当した場合、ロコモ度（ロコモ度1、ロコモ度2、ロコモ度3）該当と判定した。

3) 静的バランステスト

開眼片足立ちテストでは、ストップウォッチを用いて、片足立ちの所要時間を最大30秒まで計測した。テストの方法は、スポーツ庁新体力テストに準拠した。テストは左右各2回実施し、最大値を代表値とした（1回目に30秒できた場合2回目はなし）。本事業では、厚生労働省「運動器の機能向上マニュアル」に記載の特定高齢者データの40%タイル点に相当する10秒未満をリスクありと判定した。

4) 動的バランステスト

1. 立位安定性限界テスト

本事業では、動的バランスのスタンダードテストとして、立位安定性限界テストを行った。

立位安定性限界テストでは、床反力計を用いて、閉脚立位にて前後方向に最大に重心移動した時の足圧中心(COP)の移動距離を測定した。被験者は両足を閉じ、腰ができるだけ曲がらないように前傾姿勢および後傾姿勢を行った（図1）。以下にテストの手順を示す。

1. 測定開始から10秒間は静止立位保持
2. 10秒間、前傾姿勢で立位保持(測定開始から10～20秒後)
3. 元の姿勢に戻り、10秒間、静止立位保持(測定開始から20～30秒後)
4. 10秒間、後傾姿勢で立位保持(測定開始から30～40秒後)
5. 測定終了

立位安定性限界テストは2回実施した。Pythonを用いてサンプリング周波数を1KHzから100Hzにフィルタリングした後、立位安静時、前方移動時、後方移動時における各COPのX軸座標の平均値を算出し、COPの前後移動距離{(前方移動COP - 立位安静COP) - (立位安静COP - 後方移動COP)}を計算した。

2. 交互片脚立ちテスト

交互片脚立ちテストでは、被験者は90bpmの4拍目毎(2.66秒間隔)に片脚立ちを交互に繰り返す（図2）。この時、腰部（骨盤）に装着したフリップベルト内に無線式加速度セ

ンサー (SS-MS-SMA16G15A200XZ, (株)スポーツセンシング) を固定し, 加速度と角加速度データを収集した (サンプリング周波数は 100Hz). データ収集後, 骨盤の挙動の周期性 (動的バランス) 指標として, Python を用いて X 軸 (垂直軸), Y 軸 (前額軸), Z 軸 (矢状軸) の加速度と角速度の自己相関係数を算出した.

本事業では, 令和 4 年度の身体バランス測定会の参加者 71 名のデータをもとに作成したロコモ判別式 $g(x) = -7.082 * acorr_aac_y + 1.9411$ に, 令和 4 年度と令和 5 年度の両テストに参加した 36 名の交互片脚立ちテストの骨盤の前後傾・角速度の自己相関係数 ($acorr_aac_y$) データを代入し, ロジスティック関数を用いて各年度のロコモ該当の予測確率 $p(x)$ を計算した. $p(x)$ が 0.5 以上の対象者をロコモ該当と判定し, ロコモ度テストによるロコモ該当の正解データとの比較によりロコモ該当の判別の中率を計算した.

5. 対象者への結果報告

参加者向けの結果報告書を作成し, 体力測定の実施から約 1 ヶ月後の 9 月 27 日の午前と午後に 32 名を対象にテクスピア大阪小ホールで結果説明会を行った. 結果説明会に参加できなかった者には結果報告書を自宅に郵送した.

6. 統計解析

令和 4 年度と令和 5 年度における交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数 ($acorr_aac_y$) の差の比較には対応のある t-検定を用いた. また, $acorr_aac_y$ の再現性の検討には相関分析を用いた. 令和 5 年度のロコモ該当の予測確率 $p(x)$ は, 令和 4 年度に作成したロジスティック回帰式に令和 5 年度のデータを代入し, ロジスティック関数により算出した. ロコモ該当の判別の中率は, $\{(p(x)$ によるロコモ該当とロコモ度テストによるロコモ該当の一致数 $+ p(x)$ によるロコモ非該当とロコモ度テストによるロコモ非該当の一致数) \div 被験者数} により算出した. 統計解析には SAS9.4 を用い, 有意水準は $p < 0.05$ とした.

III 結果

1. 解析対象者の属性

本事業では, 交互片脚立ちテストの再現性を検証する目的のため令和 4 年度と令和 5 年度の両テストを受けた 36 名を解析対象者とした. 被験者 36 名の内, 男性は 8 名, 女性は 28 名であり, 女性の割合が 77.8% と多かった. 年齢は平均 71.3 ± 5.9 歳 (60 歳から 82 歳) であり, 年齢階級は 60 歳代: 11 名 (30.6%), 70 歳代: 21 名 (58.3%), 80 歳代: 4 名 (11.1%) であった. 被験者の健康状態に関しては, 概ね良好であり, 令和 4 年度から著しく悪化した者はいなかった. 身長と体重は, 男性で 166.3 ± 4.2 cm, 65.1 ± 6.2 kg であり, 女性では 153.5 ± 6.5 cm, 50.5 ± 7.6 kg だった. BMI は, 男性で 23.5 ± 1.4 , 女性で 21.4 ± 2.5 であり, 男女間で有意差が認められた ($p < 0.05$).

2. 交互片脚立ちテストの再現性評価

1) 骨盤前後傾・角速度の自己相関係数の差

表 1 に、令和 4 年度と令和 5 年度における交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数(acorr_aac_y)の平均値及び差を示した。被験者全体では、acorr_aac_y は 0.255 ± 0.024 から 0.263 ± 0.023 へ 0.008 増加したが、この差は有意ではなかった。ロコモ度が改善、維持、進行したグループ別にみても、ロコモ改善群(n=6)では、acorr_aac_y は 0.290 ± 0.030 から 0.220 ± 0.052 へ 0.070 低下したが、群間差は認められなかった。ロコモ維持群(n=28)では、acorr_aac_y は 0.252 ± 0.028 から 0.265 ± 0.026 へ 0.013 増加した。同様に、ロコモ進行群(n=2)でも、acorr_aac_y は 0.180 ± 0.195 から 0.364 ± 0.026 へ 0.184 増加したが、いずれも群間差は認められなかったことから、1 年間の間隔で計測した交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数の平均値は同等であることが示された。

2) 骨盤前後傾・角速度の自己相関係数の相関関係

表 2 に、令和 4 年度と令和 5 年度における交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数(acorr_aac_y)の相関係数を示した。acorr_aac_y の相関係数は、被験者全体では 0.745 であり、強い正の相関関係が認められた($p < 0.001$)。ロコモ度の改善、維持、進行グループ別でも、acorr_aac_y の相関係数は、ロコモ改善群(n=6)で $0.735(p = 0.096)$ 、ロコモ維持群(n=28)で $0.798(p < 0.001)$ であり、強い正の相関関係が認められた。ロコモ進行群については被験者数が 2 例だったため相関係数を算出することはできなかった。このように、1 年間の間隔で計測した交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数の間には強い正の相関が認められた。

3) ロコモ該当の判別率の比較

令和 4 年度の泉大津市バランス測定会に参加した高齢者 71 名のデータをもとに作成したロコモ判別式に、令和 4 年度と令和 5 年度の身体バランス測定会に参加した高齢者 36 名の各年度のデータを代入し、ロコモ判別率を計算した。この結果、令和 4 年度のロコモ判別率の判別率は 0.750 (真陽性率：0.789, 偽陰性率：0.294) だったが、令和 5 年度の判別率の判別率は 0.639 (真陽性率：0.632, 偽陰性率：0.353) であり、令和 4 年度に比べて令和 5 年度の判別性能は低下した。このように、1 年間の間隔で計測した交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数を用いたロコモ判別式の判別性能は同等とは言えなかった。

IV 考察

本事業では、1 年間の間隔で実施した身体バランス測定会において、交互片脚立ちテストの骨盤前後傾・角速度の自己相関係数(acorr_aac_y)の再現性を検証した。この結果、令和 4 年度と令和 5 年度における acorr_aac_y の平均値には差が認められず、両者の間には強い相関関係が認められた。このように、本法の acorr_aac_y には再現性が認められたが、この指標を用いたロコモ判別式の判別性能については、令和 4 年度に比べて令和 5 年度は真陽性

率・偽陰性率ともに低下する結果となった。

既述の通り、本式によるロコモの判別性能には動的バランス能力(acorr_aac_y)が影響するが、令和 4 年度の身体バランス測定会後の結果説明会で筋トレのロコモへの有効性を説明したことにより、令和 5 年度には動的バランス能力とは無関係に下肢筋力の増強によりロコモ度が改善された対象者が 6 名(16.7%)存在したことがロコモの判別性能に不一致が生じた要因と考えられた。

V 今後の展望

上述の通り、令和 5 年度におけるロコモ度改善群では、動的バランス能力とは無関係に下肢筋力の増強によりロコモ度が改善された可能性があり、これがロコモの判別的中率の不一致を引き起こした要因と考えられる。今後も身体バランス測定会の継続参加者では、動的バランス能力に変化がなくても下肢筋力の増強によりロコモ度の改善が生じる可能性があるため、ロコモ判別の中率の再現性を検証することは難しいと考えられる。現時点では、本式によるロコモの判別性能が社会実装レベルには至っていないことが課題であるため、令和 6 年度は新規に対象者を募集し、判別性能を実用化レベルまで改善することを優先事項と考える。特に、現行のロコモ判別式では、偽陰性率が高くなる（ロコモ非該当者を該当と誤判定する率が高い）問題がある。偽陰性率が高くなる要因として、交互片脚立ちテストの難易度が高いため、ロコモ非該当者の自己相関係数が高くないことがあげられる。この問題を解決するためには、交互片脚立ちテストの課題を今よりも簡単にする工夫が必要である。例えば、現行では 90bpm の 4 拍目（2.66 秒間隔）で片脚立ちを繰り返しているが、これを 120bpm の 4 拍目（2.0 秒間隔）に変更することにより片脚立ちの時間を短縮するような修正を行う。これによりロコモ非該当者の acorr_aac_y が向上し、偽陰性率の改善が期待できる。

結論として、令和 6 年度は、新規参加者を対象に交互片脚立ちテストのサンプル数を増やすことによりロコモの判別の中率の向上を図る。特に、偽陰性率の改善を図るため交互片脚立ちテストの難易度を下げる修正を行い、本法の判別性能を社会実装レベルまで改善することに重点をおく。

VI 謝辞

本事業は、JSPS 科研費（課題番号：19K11551）の助成を受けて実施しました。本事業の実施にあたり、ご協力いただきました泉大津市在住の高齢者の皆様、泉大津市市長公室成長戦略課ならびにテクスピア大阪の職員の皆様に心より感謝申し上げます。