

下肢筋トレーニングが片脚立位時の筋活動に与える影響

秋津知宏¹⁾ 神内伸晃²⁾ 小澤庸宏³⁾ 沖和久¹⁾ 三澤圭吾¹⁾ 谷口和彦¹⁾

¹⁾ 明治東洋医学院専門学校 ²⁾ 明治国際医療大学 ³⁾ デイサービスきずな

要旨

【目的】本研究では高齢者において筋活動が高かった筋に対してトレーニングを実施し、トレーニング前後での筋活動の違いを比較し、両者にどのような差が生じるのかを検証することを目的とした。【方法】高齢者 17 名（平均年齢 84.5 ± 6.2 歳、平均身長 152.0 ± 7.2 cm、平均体重 52.7 ± 12.9 kg）を対象に高齢者の開眼両脚立位（以下、両脚立位）、開眼片脚立位（以下、片脚立位）による重心動揺を測定するとともに立位姿勢に関連性のある筋に表面筋電図の電極を貼付し、筋活動を測定した。また、上記測定の際に側方から股関節と膝関節の屈曲角度について、後方から体幹の傾きについても測定した。【結果】介入前及び介入後の両側立位と片脚立位の比較で有意な差がみられた項目は総軌跡長の介入前と介入後、筋活動の介入前と介入後、股関節の屈曲角度の介入後、膝関節の屈曲角度の介入後、体幹の傾きの介入前と介入後だった。介入前後の比較で改善がみられた項目として、両脚立位の際の筋活動、体幹の傾き、片脚立位の際の総軌跡長、筋活動についてだった。【結論】定期的に全身運動、筋肉トレーニングを行うことにより、一部の運動機能に改善がみられることが示唆された。

キーワード：高齢者、下肢筋トレーニング、重心動揺、筋電図、関節角度

1) 緒言

平成 29 年 10 月の我が国の高齢化率は、27.7%（3515 万人）を占め、うち 75 歳以上の高齢化率 13.8%であり、今後さらに高まることが推定されている。まさに我が国の高齢化率は世界一であり、超高齢社会を迎えている¹⁾。

我が国の高齢者の自立度や身体機能をみると、比較的元気な高齢者が多いことが指摘されているが、75 歳前後から高齢者の自立度は急速に低下するとの指摘がある²⁾。その要因としてフレイルが指摘されている³⁾。

その中で関心が高い課題として、高齢者の転倒事故がある。転倒事故においては、事故を起因する一連の問題、例えば骨折⇒自立度の低下⇒要支援⇒要介護状態、あるいは骨折⇒寝たきり⇒認知症など、厳しい状況へと進展させるだけに転倒事故を減少させることは極めて重要な課題である。高齢者の転倒事故は様々な施設で行われているバランス訓練や筋力訓練を取り入れた転倒予防体操の普及により年々減少しているものの、平成 22 年度には 65

歳人口では10%の割合で発生した⁴⁾との報告があり、まだまだ少なくない。そのため、現行の転倒予防体操よりさらに効果的な転倒予防方法を考案することが必要であると考え。先行研究にて高齢者と若年者の片脚立位時の筋活動の比較検討を行い、若年者では筋活動が低かった筋が高齢者では筋活動が高い結果が得られた。本研究では高齢者において筋活動が高かった筋に対してトレーニングを実施し、トレーニング前後での筋活動の違いを比較し、両者にどのような差が生じるのかを検証することを目的とした。

2) 対象および方法

対象は本研究の目的と方法を十分に説明し、同意を得られた高齢者 17 名（平均年齢 84.5 ± 6.2 歳、平均身長 152.0 ± 7.2 cm、平均体重 52.7 ± 12.9 kg）を対象とした。対象の高齢者は通所介護施設に通う利用者でバランス機能に影響を与える疾患（中枢神経疾患、感覚障害や疼痛）がない者で、定期的に施設で決められた全身運動を行っている者とした（表 1）。

表 1. 被験者データ

	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	既往歴
1	女性	85	145.5	45.6	腰部脊柱管狭窄症
2	女性	82	159.5	53.1	腰部脊柱管狭窄症
3	男性	79	159	68.1	腰部脊柱管狭窄症・両膝変形性関節症
4	女性	94	142.5	36.3	腰部脊柱管狭窄症
5	女性	86	144.5	42.9	腰椎症
6	女性	92	147.5	55.6	骨粗鬆症
7	女性	78	147.5	44.4	腰部脊柱管狭窄症・パーキンソン症候群
8	女性	88	148.5	54.6	腰椎症・変形性膝関節症
9	男性	82	159.5	79.6	両膝変形性関節症
10	男性	75	164.5	78.6	関節リウマチ
11	男性	91	154	57.1	圧迫骨折
12	女性	84	151.5	45.1	両膝変形性関節症
13	女性	82	158.4	49.3	特記なし
14	女性	73	159	54.2	圧迫骨折
15	男性	85	155	53.5	特記なし
16	女性	86	147.5	44.3	骨粗鬆症
17	女性	94	140	33.4	骨粗鬆症

測定項目は高齢者の開眼両脚立位（以下、両脚立位）、開眼片脚立位（以下、片脚立位）による重心動揺を測定するとともに立位姿勢に関連性のある筋に表面筋電図の電極を貼付し、筋活動を測定した。また、上記測定の際に側方から股関節と膝関節の屈曲角度について、後方から体幹の傾きについても測定した。測定方法は①重心動揺計（アニマ社製 GS-11）を使用し、両脚立位と片脚立位における重心動揺の総軌跡長を求め、比較検討した。測定時間は 30 秒とした。②筋活動の測定は、表面筋電計（ロジカルプロダクト社製筋電センサ LP-WS1221）の電極を各対象筋の筋腹に貼付し、電極間距離は 2 cm、サンプリング周波数は 1 Hz で測定した。測定する対象筋は、下肢の抗重力筋（大腿四頭筋内側広筋・外側広筋、腓腹筋内側頭・外側頭）とバランスを崩した際に踏ん張る力として働く筋として考えられる下肢筋（大腿

二頭筋、前脛骨筋)とした。表面筋電図は、BIMUTAS II (キッセイコムテック社製)を用いて、全波整流を行い、積分値を算出して、積分筋電図として筋活動を定量化した。③股関節、膝関節の屈曲角度と④体幹の傾きの測定は、iPadにて測定中の姿勢を側方または後方から撮影し、角度測定アプリ(ダイゴ社製三点計測器 1.1.2)を用いて測定した。なお、③の関節の屈曲角度の測定に必要な体幹軸と大腿軸、下腿軸については、肩甲骨肩峰、大腿骨大転子、大腿骨外側顆、腓骨外果に貼付したマーカーを参考に肩甲骨肩峰-大腿骨大転子間を体幹軸、大腿骨大転子-大腿骨外側上顆間を大腿軸、大腿骨外側上顆-腓骨外果間を下腿軸とし、股関節屈曲角度は体幹軸と大腿軸、膝関節屈曲角度は大腿軸と下腿軸を測定した。④の体幹の傾きの測定は肩甲骨下角に貼付したマーカーを参考に水平軸と左右肩甲骨下角軸を測定した。なお、関節角度と体幹の傾きの測定は測定時間 30 秒間で安定した姿勢の際の同じ時間で行った。筋肉トレーニングについては、先行研究にて高齢者において筋活動が高かった筋である内側広筋と大腿二頭筋に実施した。内側広筋のトレーニングは膝関節伸展運動の際に膝関節内側にボールを挟む方法で実施し、大腿二頭筋のトレーニングは足関節にゴムチューブを掛け、膝関節伸展位で股関節を伸展させる方法で実施した。この二つのトレーニングを日常施設で行っているトレーニングに加えて、転倒予防体操のプログラムとして実施した。

全てのデータは平均±標準偏差で示した。評価項目である両脚立位と片脚立位時の重心動揺の総軌跡長と各対象筋の筋活動値(積分筋電図)の解析結果、股関節と膝関節の屈曲角度、体幹の傾きに関して、筋肉トレーニング前(以下、介入前)と筋肉トレーニング後(以下、介入後)で比較した。検定には SPSSStatistics (IBM 社製 version25)を用い、介入前と介入後の両脚立位と片脚立位による重心動揺の総軌跡長、各対象筋の積分筋電図、股関節膝関節の屈曲角度、体幹の傾きは対応のある t 検定を行い、介入前と介入後間の両脚立位と片脚立位による重心動揺の総軌跡長、股関節膝関節の屈曲角度、体幹の傾きには、対応のある t 検定を行った。なお、有意水準は 5% ($p < 0.05$) と 1% ($p < 0.01$) とした。

3) 結果

①総軌跡長(図1)

介入前及び介入後の両脚立位と片脚立位の総軌跡長の結果を表2に示す。

表 2. 総軌跡長の結果

	平均 (SD)		p 値
	両脚 (cm)	片脚 (cm)	
介入前	72.5 (46.81)	144.87 (60.71)	0.0000002
介入後	65.28 (37.81)	121.27 (50.96)	0.0002
	介入前	介入後	
両脚	72.5 (46.81)	65.28 (37.81)	0.35
片脚	144.87 (60.71)	121.27 (50.96)	0.02

介入前及び介入後の片脚立位の総軌跡長は両脚立位と比較し、有意に高値 ($p < 0.01$) を示した。また、片脚立位の介入前の総軌跡長は介入後と比較し有意に低値 ($p < 0.05$) を示した。一方、両脚立位の総軌跡長は介入前後で有意な差はみられなかった。

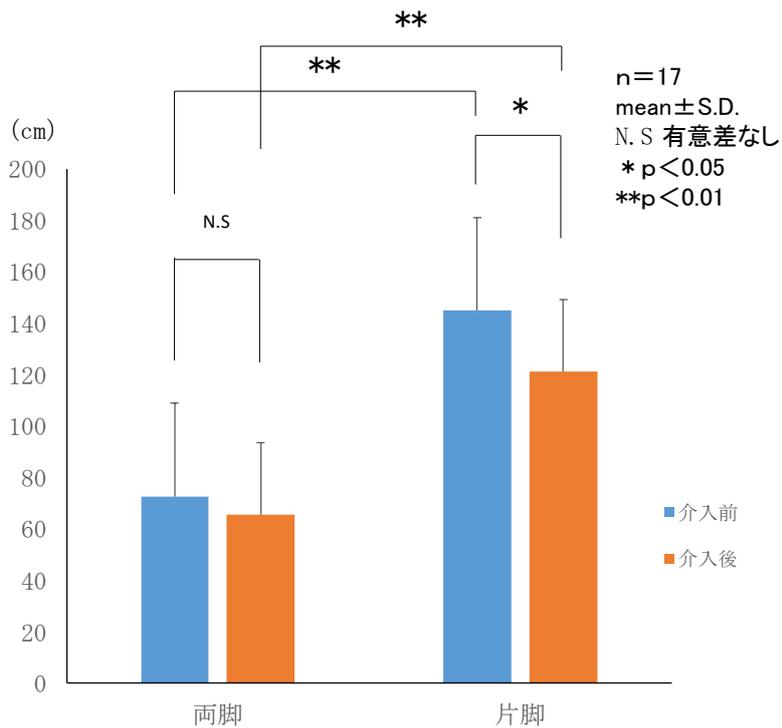


図 1. 総軌跡長の結果

②積分筋電図 (図 2、3)

介入前後の両脚立位と片脚立位の積分筋電図を表 3、4 に示し、両脚立位及び片脚立位の介入前後の積分筋電図を表 5、6 に示す。

表 3. 介入前の積分筋電図の結果

介入前	平均 (SD)		p 値
	両脚 (mV・msec)	片脚 (mV・msec)	
内側広筋	1088.15 (802.3)	1979.51 (1239.02)	0.000009
外側広筋	1219.45 (852.6)	2128.13 (1176.15)	0.00004
大腿二頭筋	460.49 (363.53)	1123.3 (886.87)	0.0006
前脛骨筋	895.59 (667.99)	2514.71 (953.05)	0.0000007
腓腹筋内側頭	548.39 (427.84)	1189.98 (411.77)	0.000003
腓腹筋外側頭	414.23 (365.49)	1005.03 (588.72)	0.0003

表 4. 介入後の積分筋電図の結果

介入後	平均 (SD)		p 値
	両脚 (mV・msec)	片脚 (mV・msec)	
内側広筋	724.1 (396.82)	1330.87 (475.84)	0.00002
外側広筋	1049.94 (742.85)	1419.52 (461.61)	0.056
大腿二頭筋	265.8 (143.11)	802.42 (278.02)	0.000000006
前脛骨筋	436.17 (329.09)	1451.46 (393.87)	0.0000001
腓腹筋内側頭	332.29 (214.79)	965.54 (370.84)	0.000000003
腓腹筋外側頭	331.96 (143.4)	890.52 (324.1)	0.000003

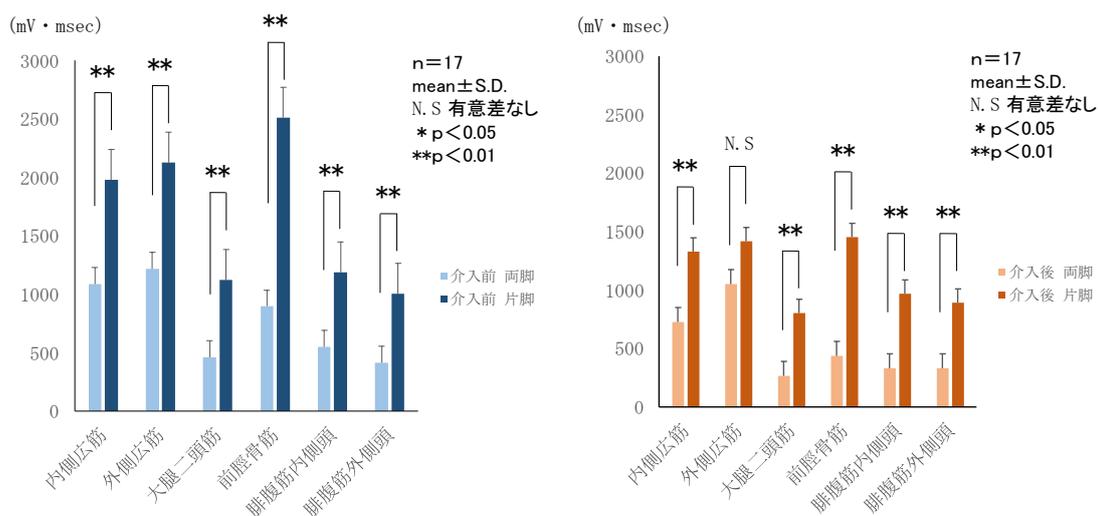


図 2. 介入前後の両脚立位と片脚立位の積分筋電図

表 5. 両脚立位の介入前後の積分筋電図の結果

両脚	平均 (SD)		p 値
	介入前 (mV・msec)	介入後 (mV・msec)	
内側広筋	1088.15 (802.3)	724.1 (396.82)	0.021
外側広筋	1219.45 (852.6)	1049.94 (742.85)	0.53
大腿二頭筋	460.49 (363.53)	265.8 (143.11)	0.014
前脛骨筋	895.59 (667.99)	436.17 (329.09)	0.005
腓腹筋内側頭	548.39 (427.84)	332.29 (214.79)	0.018
腓腹筋外側頭	414.23 (365.49)	331.96 (143.4)	0.33

表 6. 片脚立位の介入前後の積分筋電図の結果

片脚	平均 (SD)		p 値
	介入前 (mV・msec)	介入後 (mV・msec)	
内側広筋	1979.51 (1239.02)	1330.87 (475.84)	0.012
外側広筋	2128.13 (1176.15)	1419.52 (461.61)	0.013
大腿二頭筋	1123.3 (886.87)	802.42 (278.02)	0.088
前脛骨筋	2514.71 (953.05)	1451.46 (393.87)	0.0002
腓腹筋内側頭	1189.98 (411.77)	965.54 (370.84)	0.006
腓腹筋外側頭	1005.03 (588.72)	890.52 (324.1)	0.36

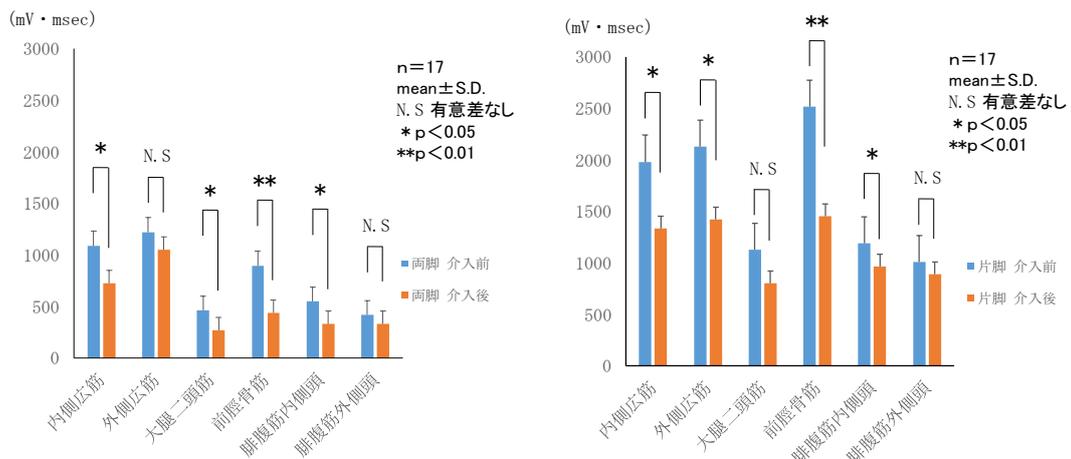


図 3. 両脚立位及び片脚立位の介入前後の積分筋電図

介入前の片側立位の積分筋電図について、全ての筋において両脚立位と比較し有意に高値を示した。また、介入後の片脚立位の積分筋電図につい

て、外側広筋以外の筋で有意に高値を示した。次に両脚立位の介入後の積分筋電図について、介入前と比較すると内側広筋・大腿二頭筋・腓腹筋内側頭 ($p < 0.05$)、前脛骨筋 ($p < 0.01$) において有意に低値を示し、外側広筋・腓腹筋外側頭においては有意な差は認められなかった。また、片脚立位の介入後の積分筋電図について、介入前と比較すると内側広筋・外側広筋 ($p < 0.05$)、前脛骨筋・腓腹筋内側頭 ($p < 0.01$) において有意に低値を示し、大腿二頭筋・腓腹筋外側頭においては有意な差は認められなかった。

③ 股関節・膝関節の屈曲角度 (図 4)

介入前後の両脚立位と片脚立位の股関節・膝関節の屈曲角度の結果について表 7 に示す。

表 7. 股関節・膝関節の屈曲角度の結果

		平均 (SD)		p 値
		両脚 (°)	片脚 (°)	
介入前	股関節	-1.06 (8.65)	0.88 (9.45)	0.31
	膝関節	8.12 (6.98)	12.41 (9.21)	0.074
介入後	股関節	1.24 (6.83)	3.41 (7.51)	0.011
	膝関節	10.47 (6.12)	15.29 (6.54)	0.002
		介入前 (°)	介入後 (°)	
両脚	股関節	-1.06 (8.65)	1.24 (6.83)	0.18
	膝関節	8.12 (6.98)	10.47 (6.12)	0.11
片脚	股関節	0.88 (9.45)	3.41 (7.51)	0.14
	膝関節	12.41 (9.21)	15.29 (6.54)	0.082

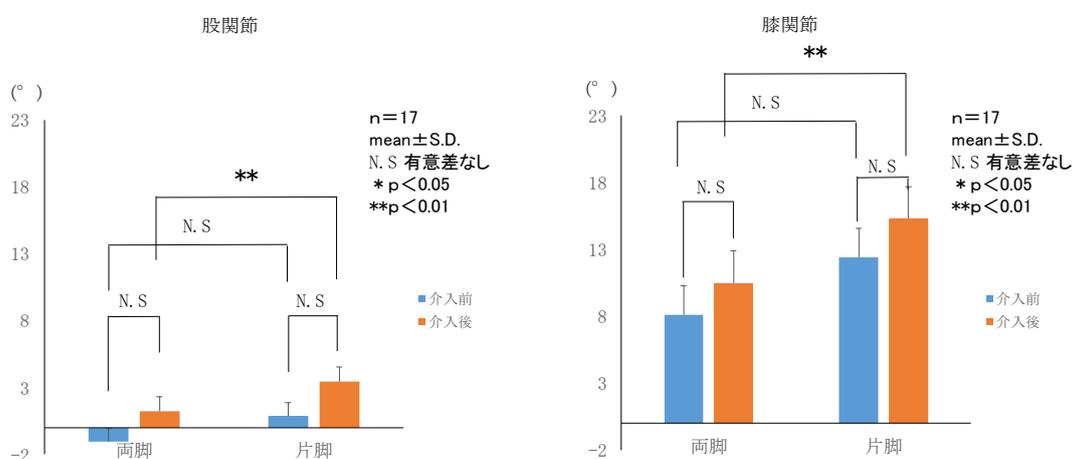


図 4. 股関節・膝関節の屈曲角度

股関節の介入前後の屈曲角度について、介入後の片脚立位が両脚立位と比較し有意に高値を示したのに対し、それ以外の場合は有意な差は認められなかった。また、膝関節の介入前後の屈曲角度においても股関節と同様の結果となった。

④体幹の傾き（図5）※（-）表記は遊脚側下がり（負）の傾きを表す
介入前後の両脚立位と片脚立位の体幹の傾きの結果を表8に示す。

表8. 体幹の傾きの結果

	平均 (SD)		p 値
	両脚 (cm)	片脚 (cm)	
介入前	-2 (3.95)	1.94 (6.71)	0.007
介入後	1.29 (3.51)	4.06 (4.16)	0.000009
	介入前	介入後	
両脚	-2 (3.95)	1.29 (3.51)	0.008
片脚	1.94 (6.71)	4.06 (4.16)	0.24

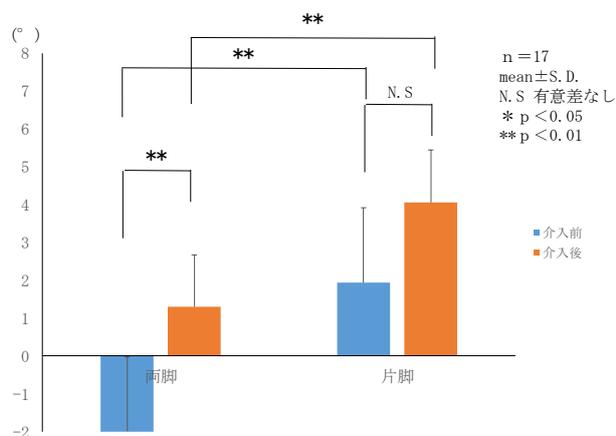


図5. 体幹の傾き

介入前の片脚立位の体幹の傾きについて、両脚立位と比較すると有意に高値を示した。また、介入後の片脚立位の体幹の傾きは両脚立位と比較し有意に高値を示した。次に両脚立位において、介入後は介入前に比較し有意に高値を示したが、片脚立位においては介入前後で有意な差は認められなかった。

4) 考察

①総軌跡長について

介入前及び介入後の片脚立位は両脚立位と比較し、有意に高値を示した。これは両脚立位から片脚立位になると、支持基底の減少と同時に重心線の

位置が相対的に辺縁に偏在するため、不安定な状態になる⁵⁾ため介入前、介入後に関わらず、有意に高値を示したと考える。介入前後の結果から両脚立位の総軌跡長に有意な差はみられなかったが、片脚立位では有意に低値を示した。筋肉トレーニングに伴い、膝関節周囲の安定性が高まることにより片脚立位では有意に低値を示したと考える。両脚立位で有意差がみられなかったのは基底面が片脚立位より大きく、本研究の筋肉トレーニングだけでは変化はみられなかったと推察する。

②積分筋電図について

介入前及び介入後の片脚立位は両脚立位と比較し、有意に高値を示した。これは総軌跡長と同様に支持基底面が減少することから不安定な状態を安定させるために筋活動が大きくなったと考えられる。次に両側立位及び片脚立位の介入前後の積分筋電図について、両脚立位の介入後において、介入前と比較し外側広筋、腓腹筋外側頭以外の筋で有意に低値を示した。また、片脚立位においても大腿二頭筋、腓腹筋外側頭以外の筋で有意に低値を示した。筋肉トレーニングを行った内側広筋、大腿二頭筋だけではなく計測した下肢全体の筋活動が有意に低下していることから、普段行っている運動と筋肉トレーニングにて、下肢全体の安定性が増加し筋活動を低下させた⁵⁾と考える。しかし、筋肉トレーニングを追加したことによるものかどうかの判断については困難であるため今後、筋力の測定についても必要であると考えられる。

③股関節・膝関節の屈曲角度について

介入前の片脚立位での股関節と膝関節の屈曲角度において両脚立位と比較し有意な差は認められなかった。一方、介入後の片脚立位においては両脚立位と比較し有意に高値を示したことから、介入後の片脚立位では重心を低く保つようになったと考えられる。これはバランスが不安定な状態のとき、重心をより低くすることで安定性を増加させるための結果であると考えられる。次に両脚立位および片脚立位の介入前後の股関節と膝関節の屈曲角度において、両者に有意な差は認められなかった。筋肉トレーニングを行ったとしても各関節の屈曲角度に変化をもたらさないことが分かった。

④体幹の傾きについて

介入前及び介入後の片脚立位での体幹の傾きにおいて両脚立位と比較し有意に高値を示し、体幹の傾きが遊脚側上がりの度合いが強くなった。正常であれば片脚立位の際、体幹の傾きは股関節により調整され、水平になるが、高齢者の場合は股関節の筋の萎縮があるため、体幹の傾きが発生

すると考えられる。次に両脚立位の介入後の体幹の傾きにおいて、介入前と比較すると高値を示し、水平に近い傾きになった。一方、片脚立位の介入前後では有意な差は認められず、本研究の筋肉トレーニングの内容、期間では片脚立位時の体幹の傾きは改善されなかった。

5) 結語

介入前及び介入後の両側立位と片脚立位の比較で有意な差がみられた項目は総軌跡長の介入前と介入後、筋活動の介入前と介入後、股関節の屈曲角度の介入後、膝関節の屈曲角度の介入後、体幹の傾きの介入前と介入後だった。介入前及び介入後で、両側立位と片側立位の比較に変化はみられないことがわかった。また、介入前後の比較で改善がみられた項目として、両脚立位の際の筋活動、体幹の傾き、片脚立位の際の総軌跡長、筋活動についてだった。本研究の対象が利用する通所介護施設ではスクワットエクササイズや踏み台昇降、エアロバイク、ウォーキングマシンのほか、高齢者専用のマシントレーニングも行っているため、今回の大腿二頭筋、内側広筋に対する介入を追加したことによるものかどうかの判断については困難であるが、定期的に全身運動、筋肉トレーニングを行うことにより、一部の運動機能に改善がみられることが示唆された。今後、筋肉トレーニングの効果であるかどうかを判断するために介入筋の筋力の測定についても必要であると考えられる。

6) 引用文献

- 1)内閣府;平成 30 年版高齢者社会白書,2018.
- 2)秋山弘子;長寿社会の科学と社会の構想科学 80(1):59-64,2010
- 3)葛谷雅文;超高齢社会におけるサルコペニアとフレイル日本内科学雑誌 104(12):2602-2067,2015
- 4)内閣府「平成 22 年度高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査結果」 P 39-44
- 5)中村隆一・齋藤宏・長崎浩著『基礎運動学』第 5 版 P313.P324、医歯薬出版、2002 年