

等尺性筋力トレーニングが等速性筋力に及ぼす影響

宮崎純弥 新井武志 兵頭甲子太郎

(Junya MIYAZAKI Takeshi ARAI Kashitaro HYODO)

【要約】

筋力増強トレーニングにおける特異性について、等尺性筋力トレーニングが等速性筋力に及ぼす影響を検討する目的として、膝関節伸展筋力を対象筋として検討した。対象は本学理学療法学科3期生25名をコントロール群、膝関節45度トレーニング群、膝関節90度トレーニング群の3群に分け、トレーニング群は週3回、9週間、等尺性筋力トレーニングを実施した。測定項目は、等尺性筋力は膝関節90・60・45度で最大筋力を測定し、等速性筋力は60・180・300deg/secで最大筋力を測定した。その結果、等尺性筋力はトレーニングした各関節角度で有意な筋力向上が認められたが、等速性筋力の有意な筋力向上は認められなかった。このことは、関節角度特異性を示唆するものであり、等尺性筋力トレーニングでは等速性筋力には影響を及ぼさないことが考えられた。

キーワード：関節角度特異性、等尺性筋力、等速性筋力

はじめに

理学療法における筋力増強トレーニングは、最も重要なトレーニングとして、関節可動域訓練と共に、頻繁に行われている。

理学療法士は患者の日常生活活動の向上を目的に筋力増強トレーニングを使用するが、その方法は様々でありその患者の目的する動作に合ったトレーニングを実施する。筋の収縮様式は筋力発揮時の骨格筋の筋長変化に基づいて、等尺性収縮と等張性収縮、等速性収縮に分類される。最も多くトレーニングで使用されている収縮様式は等張性収縮である。しかしながら、痛みなどの障害により、最適な筋収縮様式が実施できない場合も多い。その場合、可能な収縮様式を選択し筋力増強トレーニングを実施する。

筋力増強トレーニングの効果には、収縮様式、動作速度、負荷強度、反復回数、セット数、セット間の休息時間、頻度などの運動条件や運動実施者の初期体力レベルや年齢が影響する。また、筋力増強トレーニングには特異性が存在することが知られている。例え

ば、等尺性収縮トレーニングを実施した場合は、トレーニングした関節角度において筋力増強効果が最大となる¹⁻⁴⁾。このように、トレーニング条件による効果の違いについて等尺性収縮について検討した報告¹⁻⁴⁾は認められるが、等尺性収縮トレーニングが等速性収縮筋力に与える影響について検討した報告は筆者らが検索した限り少ない⁵⁾。

そこで、本研究の目的は膝関節伸展筋力を対象とした、等尺性筋力トレーニングを行った場合に等速性筋力に及ぼす影響について検討することである。

方法

被験者は本学理学療法学科の3期生の女子学生25名とした。年齢 19.9 ± 0.6 歳、身長 159.7 ± 4.7 cm、体重 53.8 ± 6.7 kgで、実験の趣旨と内容を説明し、得られたデータは研究目的以外には使用しないこと、および個人情報漏洩に注意することについて説明し、理解を得た上で協力を求めた。また、研究への参加は自由意志であり、被験者にならなくても不利益にならな

いことを説明し、同意を得て研究を開始した。

測定手順は、まず被験者をランダムに3群に分けた。コントロール群5名と膝関節45度での等尺性筋力トレーニング群10名、膝関節90度での等尺性筋力トレーニング群10名とした。それぞれの群間において年齢、体格差がないことを統計学的に確認した。

筋力測定には、多用途筋機能評価運動装置BIODEX SYSTEM3 (酒井医療) を使用した。測定肢位は、背もたれの角度を80度に設定したシート上で座位をとらせて、体幹ならびに測定側大腿部を備え付けのベルトで固定した。パワーヘッド軸を被験者の膝関節に合わせ、レバーアームの長さを調整し、足関節背屈を阻害しない範囲で下腿遠位端に位置するように取り付けた。この際、上肢の影響を無くすために、両上肢は体幹の前で腕組みさせた。等尺性膝関節伸展筋力の測定関節角度は膝関節90度、60度、45度とした。最大努力で5秒間の等尺性膝関節伸展筋力を3回測定した。その際、筋疲労を考慮し、各測定間には60秒程度の休憩を入れた。等速性膝関節伸展筋力の測定は、角速度60、180、300deg/secで行った。その際の膝関節測定可動範囲は膝関節90度から最大伸展位とした。それぞれの測定順序はランダム化し、最大努力で3回行わせた。その際、筋疲労を考慮し、各測定間には60秒程度の休憩を入れた。等尺性及び等速性膝関節伸展筋力共に、得られた測定値は最大値を平均した値を被験者の代表値とし、測定パラメーターには、最大トルク(Nm)を体重で除した体重比(Nm/kg)を採用した。筋力測定は、トレーニング開始前、トレーニング開始後3週目、6週目、9週後の週の計4回同一の方法を用いて測定した。

等尺性膝関節伸展筋力トレーニングの方法は、Williamら⁶⁾の方法を参考にしてプラットフォーム上で座位にて非収縮性のベルトを使用し膝関節90度・45度にそれぞれ設定した。膝関節角度の設定は経験のある理学療法士がゴニオメーターを使用して設定した。筋収縮時間は、最大努力で膝関節伸展を10秒間とし、休憩を20秒間入れた。それを15回行わせた。トレーニング期間は9週間で、週3回行わせた。

統計処理は、StatView5.0を用いて二元配置分散分析(repeated-measure design two-way ANOVA)を使用し、事後検定にTukey-Kramer法を用いて有意水準5%とした。

結果

全期間を通じて、実験に参加したのは21名であり、45度トレーニング群は3名が脱落し、90度トレーニング群は1名が脱落した。

コントロール群においては、等尺性、等速性収縮ともにトレーニング前後で有意差は認められなかった(表1、表2)。

45度トレーニング群の体重比を表3、表4に示す。等尺性膝関節90度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 58.4 ± 7.3 、 62.4 ± 15.9 、 64.6 ± 10.0 、 67.6 ± 12.2 Nm/kgで有意差は認められなかった。等尺性膝関節60度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 86.7 ± 14.1 、 86.6 ± 12.1 、 94.0 ± 12.0 、 105.0 ± 12.9 Nm/kgで、トレーニング前と9週後の間に有意差($p < 0.05$)を認めた。等尺性膝関節45度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 74.8 ± 13.6 、 74.8 ± 13.3 、 81.9 ± 11.9 、 90.0 ± 12.7 Nm/kgで、トレーニング前と9週後の間に有意差($p < 0.05$)を認めた。等速性膝関節伸展筋力角速度60 deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 65.3 ± 10.3 、 64.8 ± 10.8 、 70.7 ± 9.1 、 71.7 ± 8.6 Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。等速性膝関節伸展筋力角速度180 deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 49.5 ± 8.1 、 49.5 ± 7.2 、 49.9 ± 8.3 、 50.4 ± 8.0 Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。等速性膝関節伸展筋力角速度300deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 34.5 ± 6.6 、 34.3 ± 4.8 、 34.3 ± 6.6 、 36.4 ± 6.3 Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。

90度トレーニング群の体重比を表5、表6に示す。等尺性膝関節90度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 51.7 ± 10.4 、 60.6 ± 13.1 、 62.5 ± 14.3 、 74.1 ± 22.3 Nm/kgでトレーニング前と9週後の間に有意差($p < 0.05$)を認めた。等尺性膝関節60度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 74.7 ± 10.6 、 86.5 ± 9.3 、 99.5 ± 9.0 、 107.1 ± 12.1 Nm/kgで、トレーニング前および3週目と9週後の間とトレーニング前と6週目との間に有意差(トレーニング前と9週後のみ $p < 0.01$ でその他は $p < 0.05$)を認めた。等尺性膝関節45度伸展筋力はトレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に 61.2 ± 9.8 、 66.7 ± 10.4 、 68.9 ± 9.5 、 70.5 ± 9.7 Nm/kgで、各測定

間に有意差は認められなかった。等速性膝関節伸展筋力角速度60 deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に61.2 ± 8.7、61.1 ± 7.3、62.4 ± 9.0、64.8 ± 14.5Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。等速性膝関節伸展筋力角速度180 deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に42.6

± 5.4、44.7 ± 6.2、46.9 ± 7.8、48.3 ± 8.7Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。等速性膝関節伸展筋力角速度300 deg/secは、トレーニング前、3週目、6週目、9週後の順に31.8 ± 2.6、31.2 ± 4.3、32.3 ± 5.0、33.8 ± 5.3Nm/kgで、各測定間に有意差は認められなかった。

表1：コントロール群等尺性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 5)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
膝関節90度	63.0 ± 7.4	63.1 ± 8.5	63.3 ± 5.1	63.6 ± 9.9
膝関節60度	96.5 ± 4.5	98.2 ± 5.1	97.9 ± 7.5	99.0 ± 9.3
膝関節45度	81.1 ± 6.9	81.1 ± 7.8	83.9 ± 5.5	84.9 ± 5.5

単位：Nm/kg

表2：コントロール群等速性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 5)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
60deg/sec	65.9 ± 11.2	67.8 ± 8.2	67.2 ± 9.5	68.3 ± 8.7
180deg/sec	45.8 ± 3.2	47.0 ± 4.9	48.1 ± 3.7	46.7 ± 4.3
300deg/sec	35.0 ± 2.9	33.3 ± 3.6	33.5 ± 1.7	32.3 ± 2.2

単位：Nm/kg

表3：45度トレーニング群等尺性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 7)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
膝関節90度	58.4 ± 7.3	62.4 ± 15.9	64.6 ± 10.0	67.6 ± 12.2
膝関節60度	86.7 ± 14.1	86.6 ± 12.1	94.0 ± 12.0	105.0 ± 12.9
膝関節45度	74.8 ± 13.6	74.8 ± 13.3	81.9 ± 11.9	90.0 ± 12.7

* : p<0.05

単位：Nm/kg

表4：45度トレーニング群等速性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 7)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
60deg/sec	65.3 ± 10.3	64.8 ± 10.8	70.7 ± 9.1	71.7 ± 8.6
180deg/sec	49.5 ± 8.1	49.5 ± 7.2	49.9 ± 8.3	50.4 ± 8.0
300deg/sec	34.5 ± 6.6	34.3 ± 4.8	34.3 ± 6.6	36.4 ± 6.3

単位：Nm/kg

表5：90度トレーニング群等尺性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 9)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
膝関節90度	51.7 ± 10.4	60.6 ± 13.1	62.5 ± 14.3	74.1 ± 22.3
膝関節60度	74.7 ± 10.6	86.5 ± 9.3	99.5 ± 9.0	107.1 ± 12.1
膝関節45度	61.2 ± 9.8	66.7 ± 10.4	68.9 ± 9.5	70.5 ± 9.7

** : p<0.01 * : p<0.05

単位：Nm/kg

表6：90度トレーニング群等速性膝関節伸展筋力の体重比 (n = 9)

	トレーニング前	3週後	6週後	9週後
60deg/sec	61.2 ± 8.7	61.1 ± 7.3	62.4 ± 9.0	64.8 ± 14.5
180deg/sec	42.6 ± 5.4	44.7 ± 6.2	46.9 ± 7.8	48.3 ± 8.7
300deg/sec	31.8 ± 2.6	31.2 ± 4.3	32.3 ± 5.0	33.8 ± 5.3

単位：Nm/kg

考察

人間の骨格筋の活動や収縮張力に影響を与える形態学的要因として、筋容量、筋生理学的断面積、筋線維長、羽状角、筋線維組成、解剖学的肢位での筋節長、モーメントアームなどがある。また、形態学的変化とともに神経学的な影響も強く作用している。一般的に筋力増強トレーニングを実施した際には、形態学的変化に先だて、神経学的要因によって筋力が増強することが知られている⁷⁾。Kraemerら⁸⁾は、レジスタンストレーニングに伴う筋力増加に対する神経性要因と筋肥大の貢献度変化について検討し、トレーニング開始後8週目から筋肥大要因が急激に増加し、それ以前の筋力増強は神経学的要因の影響が強いことを指摘している。

本研究では、等尺性膝関節伸展筋力トレーニングが等速性膝関節伸展筋力に及ぼす影響について検討した。その結果、各トレーニング群において、トレーニング前後での筋力増強は認められたものの、等速性膝関節伸展筋力については有意な差は認められなかった。

筋力トレーニングの特異性についてこれまで、次のようなことが言われている。まずは、一般にトレーニング動作における発揮筋力の増加率に比較して他の動作様式での増加率は低いとするものや、等尺性収縮トレーニングではトレーニングが実施される関節角度での筋力増加率が他の関節角度よりも高いとする、動作様式による効果の特異性がある⁴⁾。次に単一の筋活動様式に基づきトレーニングを実施した場合、筋機能における効果はトレーニングと同一の筋活動条件下においてももっとも高く現れるとする、筋活動様式による効果の特異性などがある^{1, 2)}。

本研究においてトレーニング群では、45度トレーニング群、90度トレーニング群ともにトレーニングで実施した関節角度で筋力の増加が認められたことは、過去の報告^{1, 2)}と一致するものであった。しかし、トレーニング角度ではない膝関節60度での筋力の大きな増加を認めた。Weirら³⁾は、等尺性膝関節伸展筋力を膝関節135度で8週間で週3回トレーニングした結果、前後30度で筋力向上が認められたと報告しており、またMaffiulettiら⁴⁾は、膝関節65度でトレーニングした結果、膝関節55度と75度で筋力が有意に向上したと報告していることから、本研究での膝関節60度の筋力向上もこれらの報告と一致するものと考えら

れた。また、関節角度と発揮張力との関係についてSmidtら⁹⁾は、膝関節角度が70度から60度屈曲位で最大トルクが得られると述べている。つまり本研究で膝関節60度での筋力の増大は筋力トレーニング効果がもっと得られやすい至適関節角度であったと考えられた。しかし、Hoyら¹⁰⁾は膝関節伸展最大トルクについて45度付近で発生するとも述べている。またKnapikら¹¹⁾は、等尺性筋力トレーニングを行っても、筋力の増加に対して関節角度の特異性は示さなかったと報告している。これらのことから、今後も関節角度特異性については検討が必要であると思われる。

次に等速性膝関節伸展筋力についてであるが、2群ともに若干の筋力増加が認められたに留まった。これは、上記した動作様式によるトレーニング効果の特異性によるものと推察できた。つまり、等尺性筋力トレーニングは等速性筋力に及ぼす影響は少ないことが示唆された。最大筋力を向上するうえで、最も効果的なトレーニング様式がよいのかという疑問について、先行研究では様々な報告が認められる¹⁻⁵⁾。しかしながら、多くの報告は、測定様式と共通するトレーニング様式が高い増加率を示すという効果の特異性に関連していると述べている。これらのことから、本研究結果もトレーニング効果の特異性を示す結果となったと考えられた。また、本研究においては、被験者を女性に限定したため、月経周期に伴う筋力の変動なども結果に影響を及ぼした可能性が考えられた。

トレーニング方法についてであるが、等尺性筋力トレーニングに用いられるのはHettingerら¹²⁾の提示した運動処方に基づいて実施され、最大筋力の50%に相当する筋力発揮を筋力増加の至適強度としている点について疑問視する報告⁶⁾されている。この事実から、本研究については最大努力でのトレーニングとした。また、トレーニングの頻度は、最低週2~3回を課している研究が多い^{3, 4)}。本研究では、週3回の頻度とした。Phillipsら¹³⁾は、筋力増強トレーニングをする際の注意事項として、トレーニングの間隔は1~2日の休息日を設ける必要があると報告している。本研究では、週3回としか規定しておらず、連日トレーニングをした被験者もいたため、筋肉痛を訴える者もいたことから、今後の研究では休息日を必ず設ける必要があると考えられた。

以上のことから、患者の筋力増強トレーニングを実施する際には、患者が獲得したい日常生活動作に必要

な筋力増強トレーニング方法を筋の特異性の観点から検討し指導することが重要と考えられた。また、等尺性筋力トレーニングは、関節運動などが出来ない場合に実施するなどの配慮が必要と思われた。

【引用文献】

- 1) Hortobagyi, T., Barrier, J., Beard, D., Braspeninx, J., Koens, P., Devita, P., Dempsey, L. and Lambert, J.: Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J. Appl. Physiol.* 81, 1677-1682 (1996)
- 2) Kraemer, WJ., Gordon, SE., Fleck, SJ., Marchitelli, LJ., Mello, R., Dziados, JE., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. and Fry, AC.: Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int. J. Sports. Med.* 12, 228-235 (1991)
- 3) Weir, JP., Housh, DJ., Housh, TJ. and Weir, LL.: The effect of unilateral eccentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.* 22, 207-215 (1995)
- 4) Maffiuletti, NA. and Martin, A.: Progressive versus rapid rate of contraction during 7wk of isometric resistance training. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 33, 1220-1227 (2001)
- 5) 嶋田智明: 大腿四頭筋増強における Isokinetic exercise と Isometric exercise との効果の実験的比較. *理学療法と作業療法* 10, 228-232 (1976)
- 6) William, DB. and William, PH.: Change in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscle following isometric training. *Phys. Ther.* 73, 455-465 (1993)
- 7) Hakkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Malkia, E., Kraemer, WJ., Newton, RU. and Alen, M.: Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J. Appl. Physiol.* 84, 1341-1349 (1998)
- 8) Kraemer, WJ., Fleck, SJ. and Evans, WJ.: Strength and power training: physiological mechanism of adaptation. *Exerc. Sports. Sci. Rev.* 24, 363-397 (1996)
- 9) Smidt, GL.: Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *J. Biomech.* 6, 79-92 (1973)
- 10) Hoy, MG., Zajac, FE. and Gordon, ME.: A musculoskeletal model of the human lower extremity: The effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee, and ankle. *J. Biomech.* 23, 157-169 (1990)
- 11) Knapik, JJ., Mawdsley, RH. and Ramos, MU.: Angular specificity and test mode specificity of isokinetic strength training. *J. Orthop. Sports. Phys. Ther.* 5, 58-65 (1983)
- 12) Phillips, SM., Tipton, KD., Aarsland, A., Wolf, SE. and Wolfe, RR.: Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 273, E99-107 (1997)

