

# 両下肢挙上運動時における 体幹安定化力の定量的評価の試み — 相対信頼性と絶対信頼性の検討 —

Quantitative measurement method for trunk stabilizing ability  
during maximum isometric bilateral leg raises  
— Analysis of relative and absolute reliability —

大江 厚\*<sup>1</sup>, 藤竹俊輔\*<sup>1</sup>, 西尾大地\*<sup>1</sup>  
今田晃司\*<sup>1</sup>, 立入久和\*<sup>2</sup>, 立入克敏\*<sup>2</sup>

キー・ワード：trunk stability, quantitative measurement, reliability  
体幹安定性, 定量的評価, 信頼性

【要旨】 スポーツや腰痛患者の治療場面において重要とされながらも、これまでに定量的な評価方法が確立されていない体幹安定化能力について、定量的評価を試み、その相対信頼性と絶対信頼性について検討した。対象は健常成人 21 名とした。測定を開始肢位は背臥位とし、被験者の両足部を、徒手筋力計と板で作成した装置とともにベッドに固定した。開始肢位から被験者が等尺性両下肢伸展挙上運動を全力で実施した際の筋力について、自由に行う control 条件と、腰椎前弯部と床の間に設置した圧測定装置の値が動作開始時の設定値より低下しないように体幹筋の収縮力によって体幹伸展を制御した trunk stabilize (TS) 条件で、各 2 回ずつ測定した。データ処理は、各条件 2 回の平均値を体重で除した値と、control 条件値に対する TS 条件値の割合を示す %control 値を算出した。統計解析は、各条件における測定の相対信頼性を級内相関係数にて確認し、絶対信頼性については Bland-Altman 分析を用いて検討した。結果、本研究で試みた測定法の再現性は非常に高く、誤差範囲についても治療効果や復帰基準の定量的指標として活用する上で有用な範囲であることが示唆された。

## はじめに

四肢の運動を繰り返し要求されるスポーツ場面において、腰部スポーツ障害の予防および治療には、四肢の運動時に腰部を安定化させて脊柱を保護することが重要であるとされている<sup>1,2)</sup>。特に過剰な腰椎伸展運動の反復は、腰椎の後方要素に負荷をかけ、腰椎疲労骨折（分離症）など重篤なスポーツ障害の発生要因になり得るとされている<sup>3)</sup>。

また、体幹の安定性はスポーツパフォーマンスにおいても重要であると考えられており、体幹安

定化トレーニングとパフォーマンス向上の関連についての報告が多く存在する<sup>4-8)</sup>。

このような背景から近年では、従来から行われている腹筋群や背筋群の最大筋力や持久力の増加を目的とした体幹筋の量的なトレーニングに加え、脊柱の安定化を目的とする体幹安定化トレーニングがさかんに行われるようになってきている<sup>1,2,4-9)</sup>。

しかし、このように体幹安定性が注目されているにも関わらず、その評価法については、体幹安定性に貢献するとされる筋の活動特性について筋電図<sup>10-13)</sup>や超音波診断装置<sup>11,13,14)</sup>を使用して評価する方法が散見されるものの、実際の四肢動作時における腰部の安定性を動きとして定量的に評価し

\*<sup>1</sup> 医療法人たちいり整形外科リハビリテーション科

\*<sup>2</sup> 医療法人たちいり整形外科整形外科

た報告は少ない<sup>11, 13, 15-17)</sup>.

これまでの先行研究において、実際の腰部の動きから体幹安定性を評価する方法としては、まず、Richardson らが考案した下肢負荷テストがある<sup>1)</sup>。この方法では、背臥位になった被験者が、段階的に難易度の異なる下肢の運動を行った際に、腰部の下に敷いた空気圧マットの圧の増減を指標に腰部の動きを定量的に観察している<sup>1)</sup>。しかしこの方法は、筆者らが行った検討によると<sup>13)</sup>、四肢の低負荷運動時における被験者個々の多様な運動制御のパターンを観察するには適しているものの、高負荷運動時には腰部や隣接関節の代償運動が生じやすい。また基本的に下肢の自重を負荷とするため、負荷設定の上限に限界があり、最大能力を評価するには適さない。さらに、腰部の動きに応じて変化する空気圧の変化と実際の腰部の動きのキャリブレーションが取れないため、空気圧の増減により腰部の運動方向は確認できるものの、運動の大きさを定量的に捉えることはできない。一方、Kendall らが考案し<sup>15)</sup>、Hagins らが改良した方法では<sup>17)</sup>、背臥位になった被験者は、両股関節 90 度屈曲位の状態から、腰部の下に敷いた空気圧マットの圧が変動しないように注意しながらゆっくりと下肢を床と平行になるように下げていき、空気圧が変動した時点の股関節の屈曲角度を指標として体幹安定性を評価している。しかしこの方法においては、踵部が床に接地した時点でそれ以上の能力は測定できないため、特にスポーツ選手においては個々の最大能力を正確に検出できない。

以上のように、これまでの報告では、四肢を全力で動かした際の体幹安定性について定量的に評価した方法は見当たらず、実際の臨床現場においてはトレーニングの効果判定、復帰基準といった客観的指標がないままにトレーニングが行われているのが実情である。

そこで本研究では、臨床場面やスポーツ場面で重要とされながらも、定量化の方法が確立されていない、高負荷での四肢運動時における体幹安定性について、特に腰椎疲労骨折などで問題となる腰椎伸展を制御する能力を体幹安定化力 (TSA ; trunk stabilize ability) として、簡便でどこでも実施可能な定量的評価法を試み、その信頼性を検討することを目的とした。

## ■ 対象および方法

### 1. 対象

体幹から下肢にかけて整形外科的疾患あるいは神経学的疾患とその既往が無く、文章及び口頭での説明に基づいて本研究への参加の同意を得た健康成人 21 名 (男性 11 名, 女性 10 名) を対象とした。平均年齢は  $39.8 \pm 9.2$  歳 (29-54 歳), 平均身長は  $166.1 \pm 8.6$ cm (152-180cm), 平均体重は  $61.5 \pm 11.1$ kg (42.5-82.5kg) であった。

### 2. 測定方法

#### 1) 測定開始肢位

図 1-A のように背臥位になった被験者に両手を頭の後ろで組ませ、両足部を徒手筋力計 (micro FET2 ; HOGGAN 社製) と板で作成した装置 (図 1-B) とともにベルトでベッドに固定した。被験者の腰の下に圧測定装置 (図 1-C ; STABILIZER ; Chattanooga 社製) の空気マット部分を、下縁が第 2 仙椎高位に、中央が棘突起を結ぶ線上に設置し、測定の前に空気マット部にポンプで空気を入れていき<sup>1)</sup>、腰椎の安静位置から腰椎を変位させない適切な圧とされている 40mmHg になるように空気圧を調節した<sup>1)</sup>。また、圧測定装置のアナログインジケータ部分を被験者からリラックスした状態で確認できる位置に設置した。

#### 2) 運動課題と測定方法

測定開始肢位から、両肩をベッドから離さないようにし、膝関節は伸展位を維持したままの状態等で等尺性に両股関節を屈曲しようとする、等尺性両下肢挙上運動を全力で行わせた。動作は検者の合図によって開始したが、急激な動作開始による腰部への負担や測定のばらつきを避けるために、動作の開始から 3 秒かけて漸増的に全力まで筋力を発揮するように、電子メトロノームを使用して指導した。

運動課題を実施した際の筋力について、特別な意識を持たずに自由に行う control 条件と、腰の下に敷いた圧測定装置の値が動作開始時の設定値より低下しないようにアナログインジゲータからの視覚的フィードバック情報により体幹伸展を制御して行う trunk stabilize (TS) 条件の 2 条件で測定した。それぞれの条件において 3 回の練習後、2 回の測定を実施した。

なお、1 回の運動課題終了毎に足部の固定ベルトをゆるめ、30 秒の安静を取ることで、疲労によ

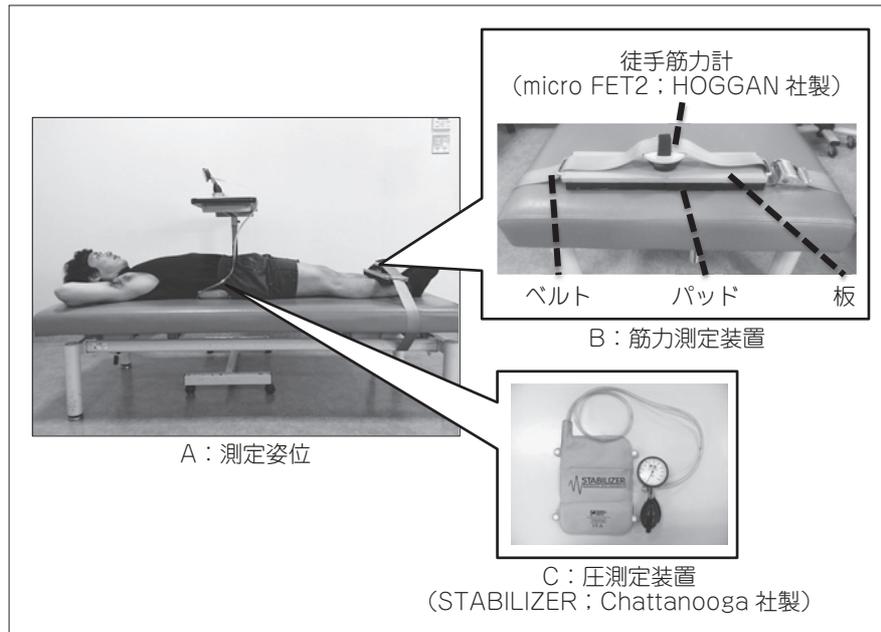


図1 測定姿勢と装置

る影響に配慮した。また、2条件の測定順序については、乱数表を使用して無作為化した。測定は全て同一検者によって実施した。

### 3. 統計解析

まず、被験者全員の平均値について、control条件における2回の平均値を体重で除した値をcontrol値、TS条件2回の平均値を体重で除した値をTSA値、control値に対するTSA値の割合を%control値 (TSA値/control値×100) として算出し、それぞれのパラメータについて被験者全員の平均値を算出した。control値、TSA値、%control値について正規性をShapiro-Wilk検定を用いて等分散性をLevene検定を用いて検定した結果、正規性と等分散性が認められたため、その後の統計学的処理についてはパラメトリックの検定を用いた。また、control値とTSA値および%control値との関連性について、ピアソン積率相関係数を用いて検討した。

次に信頼性を検討するために、相対信頼性についてはcontrol条件およびTSA条件を2回行った場合の再現性を級内相関係数 (ICC: 1, 1) にて確認し、絶対信頼性についてはBland-Altman分析を用いて系統誤差の有無を確認した後、最小可検変化量を求めた。

なお、すべての統計解析はSPSS 18.0 for windowsを使用し、有意水準は5%未満とした。

## 結果

1. 被験者全員における各パラメータの平均値  
被験者全員における平均値は、control値  $0.82 \pm 0.17\text{N/kg}$ 、TSA値  $0.62 \pm 0.19\text{N/kg}$ 、%control値  $75 \pm 19\%$  であった。

2. control値とTSA値および%control値との関連性

相関分析の結果、control値とTSA値との相関は  $r=0.71$  ( $p=0.00033$ ) となり有意な強い相関を認め、control値と%control値との相関は  $r=0.23$  ( $p=0.29$ ) となり関連性を認めなかった (図2)。

3. 測定の信頼性

運動課題を2回行った際のcontrol条件およびTSA条件の相対信頼性と絶対信頼性の結果を表1および図3に示す。

ICCはcontrol値0.93、TSA値0.94となり、2条件ともにalmost perfectの再現性が認められた<sup>18)</sup>。また、Bland-Altman分析の結果から、control条件、TSA条件ともに加算誤差、比例誤差のいずれの系統誤差も認めず (図3)、最小可検変化量はcontrol値  $0.16\text{N/kg}$ 、TSA値  $0.11\text{N/kg}$  であった。

## 考察

本研究においては、高負荷な運動時にも代償運動が起きにくく腰部の評価に焦点を当てやすいよ

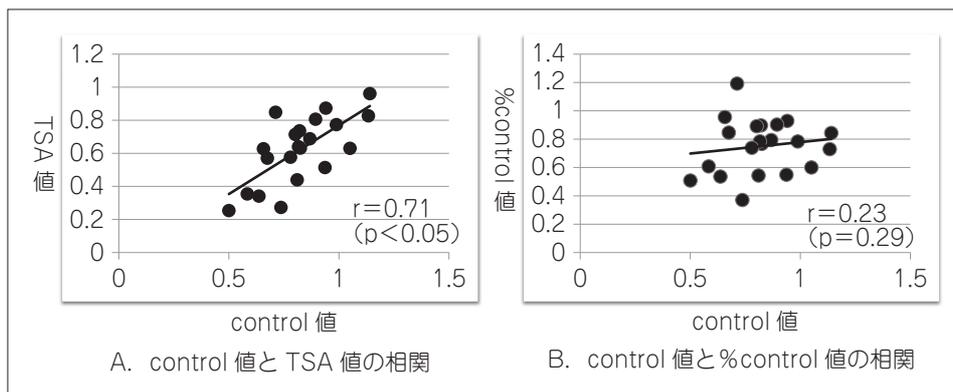


図2 control 値と TSA 値および %control 値との関連性  
control 値と TSA 値間に強い相関を認め、control 値と %control 値間には関連性を認めなかった。

表1 control 条件および TSA 条件の相対信頼性と絶対信頼性の結果

	ICC (1, 1)	Bland-altman 分析			MDC
		加算誤差	比例誤差		
			95% 信頼区間	r	
Control 条件	0.93	-0.11 ~ 0.15	-0.41	0.06	0.16
TSA 条件	0.94	-0.12 ~ 0.10	-0.21	0.36	0.11

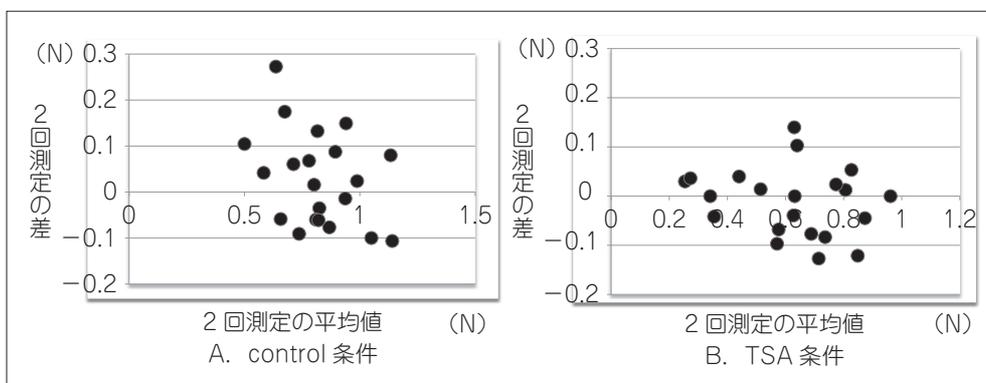


図3 control 条件および TSA 条件における測定値の Bland-Altman プロット  
control 条件, TSA 条件ともに加算誤差, 比例誤差のいずれの系統誤差も認めなかった。

うに、運動課題を等尺性両下肢伸展挙上運動とした。また、腰部の下に敷いた空気圧マットの値を安静時のベースラインから下降させないという条件下において測定した最大等尺性両下肢挙上力を体幹安定化の最大能力とする事で、空気圧変動と腰部の動きとのキャリブレーションの問題や、最大能力の過小評価の問題が生じないように工夫した。背臥位からの等尺性両下肢伸展挙上運動は、体幹筋群による固定が不十分な場合、主動作筋である腸腰筋や大腿四頭筋は、腰椎や骨盤に起始部

を持つため、骨盤の前傾に作用し、腰椎を伸展させる<sup>19)</sup>(図4)。そこで本研究では、特に腰椎疲労骨折などで問題になる伸展方向を制御する能力に焦点を当て、主動作群による腰椎伸展作用を制御した状態で発揮可能な等尺性両下肢伸展挙上力の限界を体幹安定化能力と考えた。

本研究の結果より、健常者における等尺性両下肢挙上運動能力は、体幹に特別な意識を持たずに行った control 値よりも、体幹の伸展方向への運動を制御して行った TSA 値の方が低値となっ

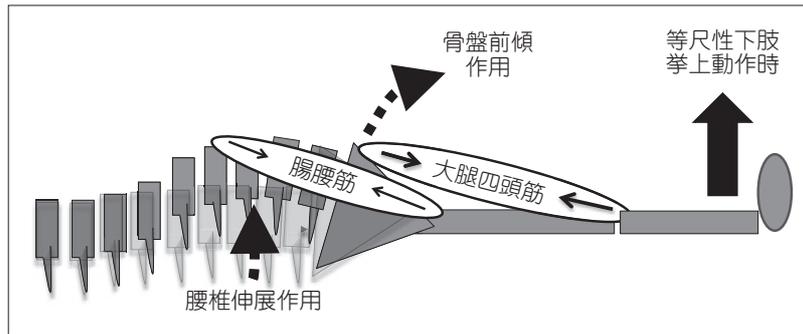


図4 等尺性両下肢挙上動作時の腰椎伸展作用  
体幹筋群による固定が不十分な場合、主動作筋である腸腰筋や大腿四頭筋は、腰椎や骨盤に起始部を持つため、骨盤の前傾に作用し、腰椎を伸展させる。



図5 %control 値 (TSA 値/control 値×100) と伸展負荷の関係  
普段の無意識下での動作能力を反映する control 値に対して、腰椎伸展制御能力を反映した結果である TSA 値の割合が低値を示すほど、スポーツ場面での四肢動作時において腰椎伸展負荷が大きくなっていることを示す。

た。この理由については、TS 条件においては下肢挙上筋力だけでなく、体幹伸展を制御するために腹筋群を中心とする体幹筋群および股関節周囲筋群による腰椎骨盤領域の固定力が必要になることが考えられる。また、下肢の運動を行いながら同時に腰部の運動をコントロールするといった脳や神経系からの指令としての運動制御能力が要求されることも要因になっていると考える。しかし、普段の無意識下での動作能力を反映する control 値に対して、体幹骨盤周囲筋力および運動制御能力を統合した腰椎伸展制御能力を反映した結果である TSA 値が低値を示すほど、スポーツ場面での四肢動作時において腰椎伸展負荷が大きくなっていることが考えられる。そこで、control 値に対する TSA 値の占める割合の指標として、%control 値を算出した (図5)。

本研究における control 値と TSA 値および %control 値との関連性の検討結果からは (図2)、control 値と TSA 値との間においては強い相関が認められたが、この理由については、control 条件と TSA 条件は体幹伸展制御への意識以外は基本

的に同じ運動課題であったためであると考えられる。一方で、control 値と %control 値の間には関連性を認めなかったことから、control 値が高くなれば相対的に TSA 値は高くなるもの、%control が示す体幹安定性が高くなるわけではない事が考えられる。具体的には、control 値は高値であるが %control 値が低値を示す被験者や、逆に %control 値は高値であるが control 値が低値を示す被験者が混在していることを示しており、前者の場合には強い筋力発揮が可能である反面、動作中の腰椎伸展負荷がより大きくなっていることが予測され、逆に後者の場合には、動作中の腰椎の伸展負荷は小さいものの、スポーツパフォーマンスに必要な筋力発揮が十分でないといったような臨床推論が可能となる。また、先行研究においては体幹安定化トレーニングとスポーツパフォーマンスの関連性が報告されているのに対し<sup>4-8)</sup>、本研究においては control 値と %control 値の間に関連が見られなかった理由としては、本研究の TS 条件は、本番前に練習を3回実施しているものの、TS 条件という不慣れた運動課題時に、本来の体幹安定化能力を発揮できなかった被験者が含まれていた可能性も挙げられる。しかし、四肢の動作で高い筋力を発揮するためには、土台となる体幹に対する高い意識や安定性が求められると考えられ、腰椎の保護の観点からも、%コントロール値と control 値の両方を高めていくようなトレーニングが重要であると考えられる。

以上のように、TSA 値のみではなく、control 値と %control 値を組み合わせることで個々の下肢体幹運動連鎖の特性を推察することにより、個々の患者や選手の特성에応じた個別の治療プログラムを

作成する際の指標になると考える。

本研究で考案した測定法における各パラメータの信頼性の結果は表1のようになり、相対信頼性を示す ICC は 0.93 以上であったことから測定の見直し内再現性は非常に高いことが示され、被験者が各条件において運動課題を行った際の固体内変動も小さい事が示唆された。また、絶対信頼性を示す Bland Altman 分析の結果からは (図3)、加算誤差および比例誤差のいずれの系統誤差も認めず、誤差の範囲を示す最小可検変量も小さかったことから (表1)、今回提案した体幹安定化能力の測定方法は、患者や選手の体幹安定化能力の測定や治療効果を判定する際にも、臨床上活用するうえで有用な方法であることが示唆された。

本研究で考案した体幹安定化能力の評価法は、実際のスポーツ場面において要求される全力相当の筋力発揮場面における体幹安定化能力を初めて定量的に測定したものであり、今後は臨床データを蓄積し、治療効果やスポーツ復帰基準の定量的指標やリハビリおよびトレーニングプログラムの構築に発展させていきたい。

## 結 論

健康者を対象に、下肢挙上運動中の体幹安定化能力について、簡便でどこでも実施可能な定量的評価法を考案した。測定の再現性は高く、誤差範囲の小さい臨床上有用な方法であることが示唆された。

### 利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

### 文 献

- 1) Richardson, C, Hides, JA. Chapter 16. Open chain segmental control and progression into function. In: Richardson, C, Hodges, PW, Hides, JA, eds. Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization; A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 233-246, 2004.
- 2) Panjabi, M. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. J Spinal Disord. 1992; 5(4): 390-396.
- 3) Sairyō, K, Katoh, S, Komatsubara, S, Terai, T, Yasui, N, Goel, V, Vadapalli, S, Biyani, A, Ebraheim,

- N. Spondylolysis fracture angle in children and adolescents on CT indicates the fracture producing force vector—A biomechanical rationale. internet J Spine Surg. 2005; 1(2): 1-6.
- 4) Butcher, SJ, Craven, BR, Chilibeck, PD, Spink, KS, Grona, SL, Sprigings, EJ. The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. J Orthop Sports Phys Ther. 2007; 37(5): 223-231.
- 5) Mills, JD, Taunton, JE, Mills, WA. The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: a randomized controlled trial. Phys Ther Sport. 2006; 6: 60-66.
- 6) Iizuka, S, Imai, A, Koizumi, K, Okuno, K, Kaneoka, K. Immediate effects of deep trunk muscle training on swimming start performance. Int J Sports Phys Ther. 2016; 11(7): 1048-1053.
- 7) Weston, M, Hibbs, AE, Thompson, KG, Spears, IR. Isolated core exercises improves sprint performance in national-level junior swimmers. Int J Sports Physiol Perf. 2015; 10: 204-210.
- 8) Reed, CA, Ford, KR, Myer, GD, Hewett, TE. The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures: a systematic review. Sports Med. 2012; 42(8): 697-706.
- 9) O'Sullivan, PB, Phyty, GD, Twomey, LT, Allison, GT. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. Spine. 1997; 22(24): 2959-2967.
- 10) Cholewicki, J, Panjabi, M, Khachatryan, A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. Spine. 1997; 22(19): 2207-2212.
- 11) Ferreira, ML, Hodges, PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. Spine. 2004; 29(22): 2560-2566.
- 12) Okubo, Y, Kaneoka, K, Imai, A, Shiina, I, Tatsumura, M, Izumi, S, Miyakawa, S. Electromyographic analysis of transversus abdominis and lumbar multifidus using wire electrodes during lumbar stabilization exercises. J Orthop Sports Phys Ther. 2010; 40(11): 743-750.
- 13) Ohe, A, Kimura, T, Goh, AC, Oba, A, Takahashi, J,

- Mogami, Y. Characteristics of trunk control during crook-lying unilateral leg raising in different types of chronic low back pain patients. *Spine*. 2015; 40(8): 550-559.
- 14) Bunce, SM, Moore, AP, Hough, AD. Measurement of abdominal muscle thickness using M-mode ultrasound imaging during functional activities. *Man Ther*. 2004; 9: 41-44.
- 15) Kendall, FP. Chapter 5. Trunk and Respiratory muscles. In: Kendall, FP, Provance, PG, McCreary, EK, Rodgers, MM, Romani, WA, eds. *Muscles Testing and Function with Posture and Pain*. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 210-214, 1993.
- 16) 大江 厚, 木村貞治, Cheng, GA, 大羽明美, 谷川浩隆, 最上祐二. 体幹筋の収縮様式の違いが下肢挙上動作時における腰部の動きに及ぼす影響. *理学療法学*. 2012; 39(5): 322-329.
- 17) Hagins, M, Adler, K, Cash, M, Daugherty, J, Mitrani, G. Effects of practice on the ability to perform lumbar stabilization exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1999; 29: 546-555.
- 18) Landis, JR, Koch, GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977; 33: 159-174.
- 19) Neumann, DA. Chapter 12. Hip. In: Neumann, DA, ed. *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for Physical Rehabilitation*. 2nd ed. Philadelphia PA: Mosby; 486-487, 2002.
- 
- (受付：2017年2月13日，受理：2017年8月30日)

## Quantitative measurement method for trunk stabilizing ability during maximum isometric bilateral leg raises—Analysis of relative and absolute reliability—

Ohe, A.<sup>\*1</sup>, Fujitake, S.<sup>\*1</sup>, Nishio, D.<sup>\*1</sup>  
Imada, K.<sup>\*1</sup>, Tachiiri, H.<sup>\*2</sup>, Tachiiri, K.<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Rehabilitation, Tachiiri Orthopedic Clinic

<sup>\*2</sup> Department of Orthopedic Surgery, Tachiiri Orthopedic Clinic

**Key words:** trunk stability, quantitative measurement, reliability

**[Abstract]** This study was aimed to develop a method for quantitative measurement of trunk stabilizing ability, which is recommended for playing sports and rehabilitation of patients with lower back pain, and to analyze the relative and absolute reliability. Twenty-one healthy subjects participated in this study. The subjects were placed in a supine position, with both feet fastened to a bed using a belt with a custom-made device consisting of a hand-held dynamometer and a wooden board. The subjects were instructed to perform isometric bilateral leg raises at maximal voluntary strength under two conditions: 1) Controlled condition: involuntary, and 2) Trunk stabilizing (TS) condition: controlled trunk extension in reference to the back pressure value measured using a biofeedback device placed under the lower back. The strength values of isometric bilateral leg raises were recorded twice for each condition. The average value for each condition was divided by the subjects' body weight to standardize the value. The ratio of the TS condition and control condition value was the percentage control value. Analysis of the reliability showed very high reproducibility and low error margins. Thus, the quantitative measurement method used in this study offers a feasible method to assess the therapeutic effect and the criteria for returning to sports.