下肢動作に伴う体幹深層筋群の筋活動性の分析

Fine Wire 電極を用いた腹横筋の分析

Analysis of the deep abdominis muscle activity with the movement of the lower limb

Analysis of the transversus abdominis muscle using an electrode of Fine wire electromyography

大 関 純 平¹⁾ 深 堀 辰 彦¹⁾ 藤 野 洋 佑¹⁾ 倉 富 慎 介¹⁾

杉 山 進¹⁾ 小 野 英 規¹⁾ 中 尾 一 久¹⁾ 山 田 道 廣²⁾

JUNPEI OZEKI¹⁾, TATSUHIKO FUKAHORI¹⁾, YOUSUKE FUJINO¹⁾,

SHINSUKE KURATOMI¹⁾, SUSUMU SUGIYAMA¹⁾, HIDEKI ONO¹⁾,

KAZUHISA NAKAO¹⁾, MICHIIRO YAMADA²⁾

要旨：〔目的〕FineWire 電極を使用し，股関節屈曲（以下，下肢動作）を行うことで，下肢動作に伴う体幹深層筋の筋活動性を検討する。〔方法〕整形外科的疾患を有さない健康男性一名を対象とし，FineWire 電極を右腹横筋・右内腹斜筋に刺入した。測定課題は，両股関節屈曲位での背臥位での下肢動作，端座位での下肢動作，バルーン上の端座位での下肢動作，端座位での風船膨らましとした。下肢動作は左右行い，自動運動と抵抗運動を行った。〔結果〕下肢動作に抵抗を加えると体幹深層筋の筋活動が高値を示した。体幹深層筋の体幹安定化への貢献度は肢位や重力の影響を受ける。また，腹横筋には同側への体幹側屈作用を有している可能性を認めた。〔結論〕体幹深層筋は，下肢動作に伴う姿勢変化に活動形態を変化させ，下肢動作を行う際の土台として関与している可能性がある。しかし，体幹深層筋の体幹安定化への貢献度は肢位や重力の影響を受けることが推察された。

キーワード：体幹深層筋，下肢動作，FineWire 電極

Abstract: [Purpose]We examined the deep abdominis muscle activity with the movement of the lower limb on condition that the hip-joint was flexed, using an electrode of Fine wire electromyography (EMG). [Method]For a healthy male, an electrode of Fine wire EMG was inserted into the right obliquus internus abdominis muscle and right transversus abdominis muscle. Measurements were achieved on condition of flexed hip-joint at supine position, or seated position(on the balloon), or inflating a balloon with seated position. The movements of both lower limbs were followed with resistant or non-resisitant exercises. [Results]The activities of Fine wire EMG on the deep abdominis muscle increased by resistant exercises. The contribution for the stability of the

受付日：2012年1月22日，採択日：2012年3月11日

1) 高良台リハビリテーション病院

福岡県久留米市藤光町965 2 (〒830 0054) TEL0942 51 3838

Kouradai Rehabilitation Hospital

965-2 Fujimitsu-machi, Kurume-shi, Fukuoka 830-0056, Japan.

2) 西九州大学リハビリテーション学部

Faculty of Rehabilitation Science, Nishikyushu University

trunk on the deep abdominis muscle was affected by position of the limb or gravity. The transversus abdominis muscle may have an action, which bends the trunk to lateral side. [Conclusions]The deep abdominis muscle may affect the posture with the movement of the lower limb, and change the muscle activity, therefore, may concern with the foundation of the movement of the lower limb. However, we guess that the contribution for the stability of the trunk on the deep abdominis muscle was affected by position of the limb or gravity.

Key words: deep abdominis muscle, movement of the limb, an electrode of Fine wire electromyography

I . はじめに

体幹は四肢が機能するための土台であり、土台である体幹機能が低下すると、上下肢機能が低下する¹⁾。そのことから体幹機能が整形疾患や中枢疾患を呈する患者のパフォーマンスへの影響が大きいことが考えられる。また、体幹筋は構造的特徴から体幹深層筋と体幹浅層筋に分けて考えられ²⁾、機能的にはインナーユニットとアウターユニットに分類される³⁾。小泉⁴⁾によると、インナーユニットは体幹深層筋群によって形成されるいわゆる腹腔であり、腹横筋・内腹斜筋・多裂筋が外周を囲い、下から骨盤底筋群が支え、その結果、腹腔内圧が上昇することで天井となる横隔膜を介して体幹を支持すると述べている。特に、腹横筋や深部多裂筋には、脊柱個々の分節の動的安定性¹⁾にも関与しており、その機能が重要視されている。

しかし、体幹深層筋が下肢動作においてどの程度活動し、動作に関与しているのか、筋活動性について検討がされている研究は寡少である。また、体幹深層筋に関する研究は、超音波診断装置を用いて筋厚から動作を検討しているものが多いが、骨盤が後傾位へと変化した場合、筋厚は過大評価されやすくなる⁵⁾など姿勢の変化による影響を考慮しなければならない。超音波診断装置と違い、筋電図は直接的に筋活動を捉えることができるため有用であると考えられる。しかし、一般的に用いられている表面電極では側腹部のように、複数の筋が層状に存在する場合には問題点がある⁶⁾。表面電極は、電極下に存在するすべての筋の筋活動を同時に記録してしまう⁷⁾ため、腹横筋などの体幹深層筋を測定する場合、浅層にある外腹斜筋や内腹斜筋の筋活動と分離することが困難であると考えられる。

以上のことを踏まえ、本研究では筋層内である腹横筋と内腹斜筋に直接電極を刺入できる FineWire 電極を用いて、腹横筋および内腹斜筋の筋活動性を複数の下肢動作間（背臥位での股関節屈曲、端坐位での股関節屈曲、バルーン上端坐位での股関節屈曲、風船膨ら

まし動作）で比較検討を行った。

II . 対象と方法

1 . 対 象

腰部や下肢に整形外科的疾患を有さない健康男性一名（年齢24歳、身長178cm、体重68kg、BMI21.5）とした。なお、本研究は当院倫理委員会の承認（承認番号8）を得て、研究同意書の作成および説明を行い、研究に対して同意を得られた者を対象とした。

2 . 方 法

1) 使用機器と電極刺入方法

FineWire 電極は Basmajian の方法⁸⁾を参考にし、なおかつ被験者の疼痛が少なかった直径0.05mmのステンレススチール線（軟性、ウレタンコーティング）を使用した。ステンレススチール線2本を23ゲージカテラン針へ通し、両端の被覆物を除去した後、筋肉内で釣り針状となるように先端部分1～2mmを折り返し双極の電極とした（図1）。電極の刺入点は右前腋窩線上⁷⁾で肋骨下縁と腸骨稜の中央付近で、超音波診断装置の画像が鮮明に映る部位とした。腹横筋、内腹斜筋の刺入部位は双方の FineWire 電極が接触しないよう刺入部位を変え距離を置いた。また、FineWire 電極の刺入は臨床検査技師が行い、小林ら⁷⁾の研究を参考に、被験者をベッド上で背臥位として、超音波診断装置（東芝メディカルシステムズ Xario）に7.5MHzのブロー

図1 FineWire 電極

図2 超音波画像
内：カテラン針を示している。
：カテラン針先端を示す。

図4 筋電図波形
上段が腹横筋の生波形，下段が腹横筋の整流波形を示している。

図3 EMG計測システムのブロック図

ブ（東芝製リニア型）を用いて，FineWire 電極の刺入点付近の体幹深層筋を確認した。ついで電極を入れたカテラン針を腹壁より刺入し，超音波画像にて視認しつつ徐々に進め，目的の筋層内へ到達させた（図2）。その後，カテラン針を抜去して電極のみを筋層内へ留置した。筋電計（日本光電製ニューロパック M1 MEB-9204）は，増幅感度を106dBとし，サンプリング周波数5000Hz，バンドパスフィルターを20Hz～10KHz，時定数を300msecに設定した。なおフィルター使用による減衰率はロカットで-6dB/oct，ハイカットで-12dB/octであり，ハムフィルターは今回使用していない（図3）。筋電処理は筋電計に内蔵された波形処理プログラムにより，図4のように生波形より全波整流処理を行い，スムージング波形よりピーク値を算出し各動作における%MVC値として正規化を行った。今回，ピーク値を用いて分析を行った理由として，積分値やRMS値は時間軸の測定差異により数値の変動が大きくなる可能性があることから，今回の測定項目では，動作時間を正確に規定することが困難であると

判断し，ピーク値を用いての分析を行った。

2）測定項目（図5）

【課題①】両股関節90°屈曲位の背臥位から，下肢動作側の股関節を100°屈曲（以下，背臥位での下肢動作），【課題②】股関節・膝関節90°屈曲位の端坐位から下肢動作側の足底が3cm挙上（以下，端坐位での下肢動作），【課題③】バルーン上の端坐位から下肢動作側の足底が3cm挙上（以下，バルーン上での下肢動作），【課題④】風船膨らまし動作とした。両上肢は胸の前に組み，各動作は呼気に合わせ5秒間行い，下肢動作はそれぞれ自動運動と抵抗運動を行った。抵抗運動は，大腿の遠位部に行い，自動運動を行った最終肢位から，その肢位を保てる最大抵抗とした。端坐位での下肢動作は，左右の臀部に一つずつ体重計を置き，荷重量の変化を確認した。荷重量は体重比百分率（荷重量/体重×100）にて%を算出した。端坐位での下肢動作およびバルーン上での下肢動作では上村ら⁹⁾の方法を参考に，なるべく脊柱・骨盤を真っ直ぐにして動作を行った。

図5 測定課題

両上肢は胸の前に組み、各動作は呼吸に合わせて5秒間行った。抵抗運動は自動運動を行った最終肢位から、その肢位を保てる最大抵抗とした。課題④は、風船に空気を入れていない状態から行った。

Ⅲ．結 果（表1）

背臥位での下肢動作では、右下肢動作における筋活動量は、腹横筋：3.1%、内腹斜筋：4.6%、左下肢動作では腹横筋：0.4%、内腹斜筋：1.4%であった。右下肢動作時の筋活動は、左下肢動作に比べ高値を示した。右下肢動作における抵抗運動時の筋活動量は、腹横筋：16.4%、内腹斜筋：21.7%、左下肢動作における抵抗運動時では腹横筋：7.1%、内腹斜筋：15.8%であった。抵抗運動においても右下肢動作時の筋活動が高値を示した。

端坐位での下肢動作では、右下肢動作における筋活動量は、腹横筋：8.1%、内腹斜筋：4.0%、左下肢動作では腹横筋：10.2%、内腹斜筋：1.6%であった。左下肢動作時の筋活動は、右下肢動作に比べ高値を示した。右下肢動作における抵抗運動時の筋活動量は、腹横筋：16.3%、内腹斜筋：12.8%、左下肢動作にお

ける抵抗運動時では腹横筋：22.2%、内腹斜筋：14.9%であった。抵抗運動においても左下肢動作時の筋活動が高値を示した。荷重量は、自動運動では下肢動作側に体重比63%、下肢非動作側に体重比21%の荷重となった。抵抗運動では下肢動作側に体重比79%、下肢非動作側に体重比15%の荷重となり、自動運動に比べ、抵抗運動時に下肢動作側への荷重が増加する結果となった。

バルーン上での下肢動作では、右下肢動作における筋活動量は、腹横筋：6.4%、内腹斜筋：6.5%、左下肢動作では腹横筋：5.0%、内腹斜筋5.0%であった。右下肢動作時の筋活動は、左下肢動作に比べ高値を示した。右下肢動作における抵抗運動時の筋活動量は、腹横筋：10.3%、内腹斜筋：11.1%、左下肢動作における抵抗運動時では腹横筋：24.9%、内腹斜筋：46.8%であった。抵抗運動では、左下肢動作時の筋活動が高値を示した。

端坐位での風船膨らまし動作では、腹横筋および内腹斜筋の筋活動量は100%であった。

全ての下肢動作において、自動運動に比べ抵抗運動の筋活動が高値であった。

Ⅳ．考 察

今回、FineWire 電極を用いて、下肢動作に伴う体幹深層筋の筋活動性について明らかにすることを目的とした。FineWire 電極は Basmajian and Stecko (1962)⁸⁾により考案され、電極を挿入したままで筋肉を収縮させても疼痛が少ない⁷⁾という利点を有している。しかし、先行研究⁷⁾においても電極挿入時に伴う疼痛は、皮膚穿刺時と筋膜穿刺時に比較的高く感じ、カテラン針を抜いても軽い鈍痛や違和感が残るとあり、本研究においても被験者にそのような自覚症状が認められた。よって本研究では、自然な筋活動ではない可能性がある

表1 各課題における腹横筋と内腹斜筋の筋活動量(%)と左側下肢動作時の荷重量の体重比百分率(%)

		右下肢動作自動		左下肢動作自動		右下肢動作抵抗		左下肢動作抵抗		風船膨らまし
		筋活動量	右側荷重量	筋活動量	左側荷重量	筋活動量	右側荷重量	筋活動量	左側荷重量	筋活動量
課題①	腹横筋	3.1		0.4		16.4		7.1		
	内腹斜筋	4.6		1.4		21.7		15.8		
課題②	腹横筋	8.1	21	10.2	63	16.3	15	22.2	79	
	内腹斜筋	4.0		1.6		12.8		14.9		
課題③	腹横筋	6.4		5.0		10.3		24.9		
	内腹斜筋	6.5		5.0		11.1		46.8		
課題④	腹横筋									100
	内腹斜筋									100

荷重量は、左下肢動作の自動運動時と抵抗運動時の体重比を記載している。

り、その点も考慮した結果として分析した。

今回測定した下肢動作において、自動運動に比べ抵抗運動の筋活動が高値を示した。村上ら¹⁰⁾によると、負荷の強い条件で下肢を挙上するためには、より脊椎の分節 - 骨盤の固定が必要であり、このために腹横筋の筋活動が高まると述べている。しかし、腹横筋をはじめとするいくつかの腰椎の安定化に関わる重要な筋は、体幹浅層筋と一緒に働くことで、運動課題の間、脊柱の安定性に関与する^{11,12,13)}ため、腹横筋のみではなく、他の筋活動も高値を示していた可能性が考えられた。

背臥位での下肢動作では、体幹深層筋の筋活動は低値を示した。McCook¹⁴⁾らは体幹の屈曲を等尺性に行わせており、0ニュートンから50ニュートンまでは腹横筋の筋活動が増加しないことを報告している。背臥位での下肢動作は体幹がベッドに固定されており、重力の影響も少ないことから、負荷が低く筋活動が低値を示す結果になったと考えられる。このことから、体幹が固定されている環境や重力の影響が少ない環境では、腹横筋は体幹 - 骨盤帯の安定性への貢献度は低い可能性が考えられる。また、先行研究¹⁵⁾において3kgのダンベルを両手で持った状態での静止立位は腹横筋の筋活動が6%であり、腹横筋が姿勢保持に大きく影響を及ぼしているとは言い難い。右下肢動作において腹横筋は3.1%、左下肢動作において0.4%とほとんど活動はみられていない。このことから、背臥位での下肢動作では腹横筋が姿勢保持に及ぼす影響は大きくないと考えられる。

端坐位での下肢動作では、体重計を用い下肢動作時

図6 課題②・③時の対側体幹深層筋の活動
下肢動作側に重心が偏移し、対側体幹深層筋が体幹を側屈させ、体幹を垂直位に保っている。

の荷重量の偏移を確認したところ、同一被験者において、下肢動作側へ荷重量の増加が認められ、抵抗運動ではさらに下肢動作側への荷重量が増加していた。そのため、下肢動作側へ重心の偏移が起こり、対側体幹深層筋が姿勢保持として働いていることが考えられた。つまり、体幹を同側へ側屈させるような働きである(図6)。先行研究¹⁶⁾においても片側上肢の挙上によって対側の腹横筋が収縮したとの報告もあり、同側への側屈の作用を腹横筋が有していることが考えられた。また、小林ら⁷⁾によると内腹斜筋および腹横筋ではいずれも電極挿入側への側屈時に有意に高い筋活動が記録されており、本研究の結果を支持するものであった。背臥位での下肢活動に比べ、端坐位は抗重力位であることから筋活動が高値を示し、重心の偏移による体幹側屈作用により反対側の下肢動作時に腹横筋の筋活動が高値を示す結果となった。

バルーン上での下肢動作では、端坐位での下肢動作に比べ筋活動は低値を示していた。Behm¹⁷⁾によると、膝関節伸展と足関節底屈の等尺性収縮を安定した面と、Swiss ball 上で行わせた際、安定した面に比べSwiss ball 上での等尺性収縮の方が下肢の筋活動は低値であったことを報告している。これは、不安定な面では十分に下肢の力が発揮できないことが考えられ、より体幹筋が活動する状態になると考えられた。しかし、腹横筋、内腹斜筋ともに端坐位での下肢動作時に比べ、バルーン上での下肢動作時の筋活動が低値を示す結果となった。これは、バルーン上での下肢動作では、端坐位に比べ基底面が不安定であり、前後への重心の偏移によって対側下肢や背部の筋が姿勢を保つために活動している可能性が考えられる。しかし、左下肢の抵抗運動においては、腹横筋、内腹斜筋ともに筋活動が端坐位での下肢動作時より高値を示した。バルーン上端坐位での下肢動作では抵抗を加えることで左右への偏移が大きくなり、姿勢を維持するための同側への体幹側屈作用により、腹横筋および内腹斜筋の筋活動が高値になったと考えられる。

これらの知見より、体幹深層筋は下肢動作に伴う様々な姿勢変化に、絶えず活動形態を変化させながら下肢動作を行う際の土台として、関与している可能性がある。しかし、体幹が固定された環境や重力の影響が少ない環境では、腹横筋の筋活動は小さく、体幹安定化への影響は大きいとは言い難い。ただし、本研究ではシングルケースであるため今後被験者を増やし、個体間の差や機能についてさらなる検討や実証が必要

であると考え。また、Hodges ら¹⁸⁾は、上下肢の運動する前からすでに、腹横筋の筋活動が始まると報告しているが、本研究ではその検討が困難である。さらに、近年では腹横筋の部位の違いによりその機能が異なる^{19, 20, 21)}ことを述べている報告もあり、本研究では電極刺入部位を一カ所に固定しており、刺入部位別の検討ができないことは本研究の限界であると考え。この点については、今後更なる検討の必要性を認めた。

Ⅳ．結 語

本研究では、FineWire 電極を使用し下肢動作に伴う体幹深層筋の筋活動性を明らかにすることを目的とした。その結果、①下肢動作に対し抵抗を加えると脊柱

骨盤帯の強い固定が必要となるため、体幹深層筋の筋活動が高値となる。②体幹が固定されている環境や重力の影響が少ない環境では、腹横筋の筋活動は低値であり、体幹 骨盤帯の安定性への影響は少ない③腹横筋には同側への体幹側屈作用を有している可能性が示唆された。

以上のことから、体幹深層筋は下肢動作に伴う姿勢変化に、絶えず活動形態を変化させながら下肢動作を行う際の土台として、関与している可能性があると考えられる。しかし、体幹深層筋の体幹安定化への貢献度は肢位や重力の影響を受けることが考えられた。このことから、体幹深層筋が体幹の安定性に関与していると一概に考えることが困難であると推察された。

引用文献

- 1) 斉藤 昭彦：体幹機能障害の分析および治療 腰椎の分節安定性 . 理学療法科学, 2007, 22(1): 1-6.
- 2) Bergmark A: Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. Acta Orthop Scand, 1989, 230: 1-54.
- 3) Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Stoeckart R, et al: The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. Spine, 1995, 20(7): 735-758.
- 4) 小泉 圭介：コアスタビリティトレーニングの意義と基本プログラム . 理学療法, 2009, 26(10): 1195-1202.
- 5) 金子 秀雄, 佐藤 広徳, 丸山 仁司：姿勢が側腹筋厚に及ぼす影響 . 理学療法科学, 2006, 21(3): 255-259.
- 6) Carman BJ, Blanton PL, Biggs NL: Electromyographic study of the anterolateral abdominal musculature utilizing indwelling electrodes. Am J Phys Med, 1972, 51(3): 113-129.
- 7) 小林 邦芳, 阿部 直, 富田 友幸：ヒトにおける呼吸および非呼吸性運動時の腹筋の機能 Fine wire 電極による検討 . 北里医学, 1991, 21: 570-578.
- 8) Basmajian JV, Stecko G: A new bipolar electrode for electromyography. J Appl Physiol, 1962, 17(5): 849.
- 9) 上村 龍輝, 山田 浩二：超音波画像を用いた各種運動時の腹横筋変化の比較 . 総合リハ, 2008, 36(5): 492-496.
- 10) 村上 幸士, 桜庭 景植：坐位での有効な腹横筋トレーニングの検討 超音波診断装置による筋厚を中心に . 理学療法科学, 2010, 27(7): 477-484.
- 11) Arokoski JP, Valta T, Airaksinen O, et al: Back and Abdominal muscle function during stabilization exercises. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(8): 1089-1098.
- 12) Cholewicki J, Vanvliet JJ: Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions. Clin Biomech, 2002, 17(2): 99-105.
- 13) Cresswell AG, Thorstensson A: Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering. Eur J Appl Physiol, 1994, 68(4): 315-321.
- 14) McCook DT, Vicenzino B, Hodges PW: Activity of deep abdominal muscle increases during submaximal flexion and extension efforts but antagonist co-contraction remains unchanged. J Electromyogr Kinesiol, 2009, 19(5): 754-762.
- 15) Crommert ME: On the role of transversus abdominis in trunk motor control. Orebo Studies in Medicine(54), 2011.
- 16) Allison GT, Morris SL, Lay B: Feedforward responses of transversus abdominis are directionally specific and act asymmetrically: Implications for core stability theories. J Orthop Sports Phys Ther, 2008, 38(5): 228-237.
- 17) Behm DG, Anderson K, Curnew RS: Muscle force and activation under stable and unstable conditions. J Strength Cond Res, 2002, 16(3): 416-422.
- 18) Hodges PW, Richardson CA: Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. Phys Ther, 1997, 77(2): 132-142.
- 19) Urquhart DM, Hodges PW, Story IH: Postural activity of the abdominal muscle varies between regions of these muscles and between body positions. Gait Posture, 2005, 22(4): 295-301.
- 20) Urquhart DM, Barker PJ, Hodges PW, et al: Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles. Clin Biomech, 2005, 20(3): 233-241.
- 21) Urquhart DM, Hodges PW: Differential activity of regions of transversus abdominis during trunk rotation. Eur Spine J, 2005, 14(4): 393-400.