

前十字靭帯損傷後の中間広筋 の筋厚と筋輝度～超音波診断装置による解析～

Muscle thickness and echo-intensity in the vastus intermedius after
anterior cruciate ligament injury

川道幸司*1, 鈴江直人*2, 山口鉄生*3

キー・ワード：Anterior cruciate ligament, vastus intermedius, Ultrasonic diagnostic equipment
前十字靭帯, 中間広筋, 超音波診断装置

【要旨】 前十字靭帯 (ACL) 損傷後に大腿四頭筋の萎縮や筋力低下が起こることはよく知られている。しかしながら、超音波診断装置を使って大腿四頭筋の各筋の特徴を調べた報告は見られない。本研究では、ACL 再建後の大腿直筋と中間広筋に着目し、超音波診断装置を使って筋厚と筋エコー輝度（筋輝度）を調べた。対象は ACL 再建後の患者 6 例（男性 2 例、女性 4 例、平均年齢 21.5 ± 11.2 歳、平均術後期間 1.1 ± 0.5 ヶ月）であった。大腿直筋の筋厚と筋輝度はいずれも健側と患側との間に有意な差はなかった。中間広筋の筋厚は健側に比べて患側で有意に減少 ($17.1 \pm 5.3\text{mm}$ vs $8.5 \pm 2.5\text{mm}$, $p=0.0313$)、筋輝度は患側で有意に増加していた (48.5 ± 21.1 vs 64.4 ± 32.6 , $p=0.0313$)。ACL 再建後の大腿四頭筋では、大腿直筋よりも中間広筋で筋厚と筋輝度に変化が生じやすいことが示唆された。ACL 損傷後は中間広筋の萎縮を意識したりハビリテーションが必要と思われる。

はじめに

骨格筋は加齢に伴い筋量が減少するが、その減少は一様でなく、部位や性別により減少する時期や割合が異なる。また下肢筋群の中でも膝伸筋群が膝屈筋群よりも筋量の減少が大きいことが報告されている¹⁾。さらに廃用性筋萎縮についても同様に筋萎縮の部位差が報告されており²⁾、ベッド上安静では下肢の筋量は上肢よりも減少率が大きく³⁾、大腿四頭筋の中でも中間広筋が最も萎縮しやすいことが報告されている⁴⁾。

前十字靭帯 (ACL) 損傷後においても大腿四頭筋の萎縮や筋力低下が起こることが知られている。William らは ACL 損傷後の大腿四頭筋を MRI で調べたところ、中間広筋と外側広筋の筋量と筋横断面積が有意に減少していたと報告した⁵⁾。

また、Kuenze らは ACL 再建後 6 ヶ月以上経過した患者を調べ、最大随意性等尺性膝伸展力に中間広筋の横断面積が強く相関することを報告している⁶⁾。中間広筋は最大膝伸展トルクのおよそ 50% を出力している可能性があり⁷⁾、膝の伸展筋力において重要な役割を担っていると考えられる。

これまで筋萎縮の評価手段として、CT や MRI を用いて筋断面積が測定されてきたが、最近では超音波診断装置の普及により筋の状態を簡便に評価できるようになった。超音波画像で計測される筋厚は、CT や MRI などで測定した筋断面積と高い相関があり、筋量の指標として使用されている⁸⁾。また、近年超音波診断装置を利用した筋輝度の測定が注目されている。筋輝度は、MRI で測定した骨格筋内の脂肪組織や、筋生検で採取された骨格筋内の脂肪や結合組織の量と相関することが知られており^{9,10)}、骨格筋の質を反映する指標として用いられている。しかし、ACL 損傷後の大腿四頭筋について、超音波診断装置を利用した報告は少ない。そこで本研究では超音波診断装置を利用

*1 国立病院機構東徳島医療センターリハビリテーション科

*2 徳島赤十字病院整形外科

*3 徳島大学総合科学部

表 1 対象者一覧

症例	年齢 (歳)	性	身長 (cm)	体重 (kg)	診断名	手術内容	測定時期 術後(ヶ月)	術前リハ の有無	受傷から 手術までの 期間(ヶ月)	術前ROM (°) 伸展~屈曲	術後ROM (°) 伸展~屈曲	患側の荷重 (PWB)
1	40	女	151	54	ACL損傷 内側側副靭帯損傷	ACL再建	1	有	1.7	-5 ~ 135	0 ~ 110	1/3
2	15	女	163	58	ACL損傷	ACL再建	0.75	無	1.0	-3 ~ 130	-2 ~ 90	1/3
3	16	男	183	69	ACL損傷 内側側副靭帯損傷	ACL再建	0.5	無	0.3	-3 ~ 135	0 ~ 90	1/3
4	31	男	163	72	ACL損傷 内・外側半月板損傷	ACL再建 内側半月板部分切除 外側半月板縫合	2	無	2.0	-5 ~ 120	-5 ~ 85	2/3
5	14	女	154	58	ACL損傷	ACL再建	1.5	有	3.1	未測定	0 ~ 130	2/3
6	13	女	167	61	ACL損傷 内側側副靭帯損傷 外側半月板損傷	ACL再建 外側半月板部分切除	1	無	1.2	0 ~ 120	-5 ~ 120	1/2

して、ACL再建後の大腿直筋と中間広筋における筋厚と筋輝度を測定し、筋萎縮の特徴について検討した。

対象および方法

対象は、ACL再建術(半腱様筋と薄筋腱を利用した二重束再建術)を施行した6例(男性2例,女性4例)とした。平均年齢は21.5±11.2歳で、損傷から手術までの期間は1.5±0.9ヶ月、手術から超音波診断装置による計測までの期間は1.1±0.5ヶ月であった。対象とした術後期間は、ACL術後の大腿部筋萎縮は術後早期から起こることが知られているため¹⁾、本研究では退院時(約1~2ヶ月)に測定を行なった。但し、術後の炎症や腫脹の影響を避けるため、術後1週間以内は測定から除外した。対象者のうち合併損傷を有する者は4例(内側側副靭帯損傷3例,半月板損傷2例)であった。また、ACL再建術と同時に半月板部分切除術が2例、縫合術が1例に施行された。手術前の膝関節可動域は、伸展-3.2±2.0°、屈曲128±7.5°であった。また超音波測定時は、伸展-2.0±2.4°、屈曲104.1±18.5°であった(表1)。

術後のリハビリテーションプログラムは、術後約1ヶ月で1/2荷重、約2ヶ月で全荷重を許可した。大腿四頭筋のセッティングは術後早期から開始し、SLRは術後1週、レッグエクステンションは術後2週、ハーフスクワットは術後3週から開始した。

超音波診断装置(HITACHI, HI VISION Avius)と高周波リニアプローブ(EUP-L65, 中心周波数10MHz)を使って、大腿直筋と中間広筋の筋厚と筋輝度を測定した。測定位置は、大腿長の中央部分(上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の midpoint)とした。筋厚は超音波診断装置の距離計測機能を用いて、大腿直筋は皮下脂肪組織と大腿直筋の境界部から大腿直筋と中間広筋の境界部まで、中間広筋は大腿直筋と中間広筋の境界部から大腿骨表面までの距離を計測した。筋輝度の測定は、大腿直筋と中間広筋の各々の筋膜を含めないようにヒストグラム機能を利用して測定領域内の平均輝度を計測した(図1)。筋厚と筋輝度は、いずれも Brightness mode を利用して短軸像で測定した。測定中は大腿骨に対して垂直にプローブが接触するように留意した。筋輝度の測定では、ゲインは同一条件で実施した。また、被験者内において患

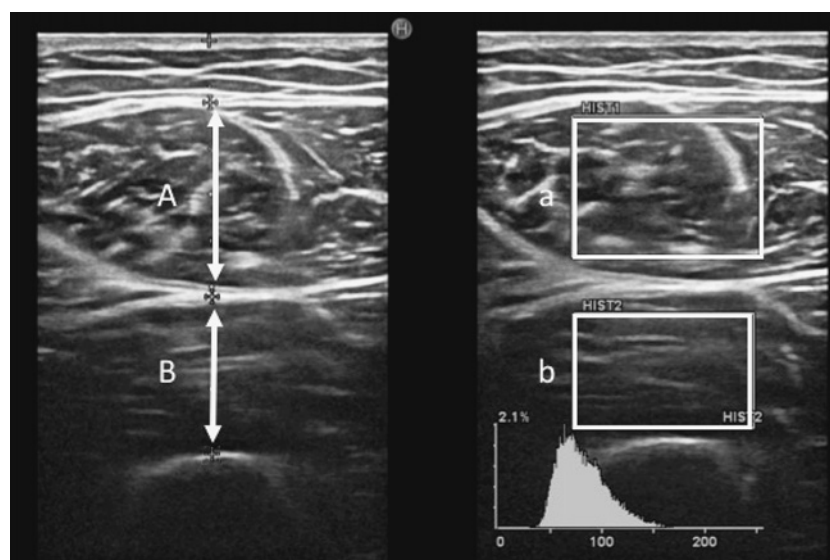


図1 筋厚と筋輝度の測定法
 左：大腿直筋 (A) と中間広筋 (B) の筋厚測定
 右：大腿直筋 (a) と中間広筋 (b) の筋輝度測定 (ヒストグラム分析)

側と健側は同じ深度で測定した。圧迫の強さは、プローブの接触面が皮膚に軽く触れる程度に留め、皮膚を圧迫することを避けた。測定時の体位は仰臥位で実施した。いずれの患者も同一測定者が2回計測し、その平均値を測定値とした。

統計学的解析は、各筋の健側と患側の筋厚と筋輝度をウィルコクソンの符号順位検定を利用して比較した。統計解析ソフトはEZR (Ver. 1.37) を利用して有意水準は5%未満とした。

倫理的配慮として、ヘルシンキ宣言を遵守し、厚生労働省「臨床研究に関する倫理指針」に基づき実施した。被験者の個人情報全てを匿名化して情報の保護を行った。被験者には文書および口頭で本研究の詳細について十分な説明を行った後に文書で同意を得た。本研究の実施については、所属機関における倫理委員会の承認(受付番号: 27-3)を得た後に開始した。

結果

術後平均1.1±0.5ヶ月の時点で、大腿直筋の筋厚は患側と健側の間に有意な差は見られなかった(19.0±3.7mm vs 17.6±4.3mm, $p=0.0625$) (図2)。中間広筋では患側が健側よりも有意に減少していた(17.1±5.3mm vs 8.5±2.5mm, $p=0.0313$)。

筋輝度は大腿直筋においては患側と健側の間に有意な差は認めなかった(90.0±11.8 vs 88.1±13.4, $p=0.563$) (図3)。一方、中間広筋では患側が健

側よりも有意に増加していた(48.5±21.1 vs 64.4±32.6, $p=0.0313$)。

実際の症例を供覧する(図4)。15歳女性、左ACL再建術後3週の時点で、筋厚は大腿直筋よりも中間広筋で大きく減少していた。また筋輝度は大腿直筋よりも中間広筋で増加していた。

考察

本研究では、超音波診断装置を利用してACL再建術後患者6名の大腿直筋と中間広筋の筋厚と筋輝度の変化について検討した。大腿直筋の筋厚と筋輝度はいずれも健側と患側との間に有意な差はなかった。しかし、中間広筋の筋厚は健側に比べて患側で有意に減少、筋輝度は患側で有意に増加していた。

ACL靭帯損傷後の大腿四頭筋では大腿直筋よりも広筋群で筋萎縮が生じやすいことが報告されている⁵⁾。大腿直筋は二関節筋であり膝関節伸展だけでなく股関節屈曲の作用を持つ。一方、中間広筋は膝関節伸展の単関節筋であることから、膝関節の運動が制限されるACL再建後では、大腿直筋よりも中間広筋の方が萎縮しやすいと推察される。WilliamsらはACL損傷後平均2ヶ月の膝をMRIで調べ、中間広筋と外側広筋の萎縮が大きいことを報告している⁵⁾。またMacleodらによると、MRIを使ってACL断裂者の中でcopers(以前の活動レベルに戻れた人)とNon-copersとの特徴

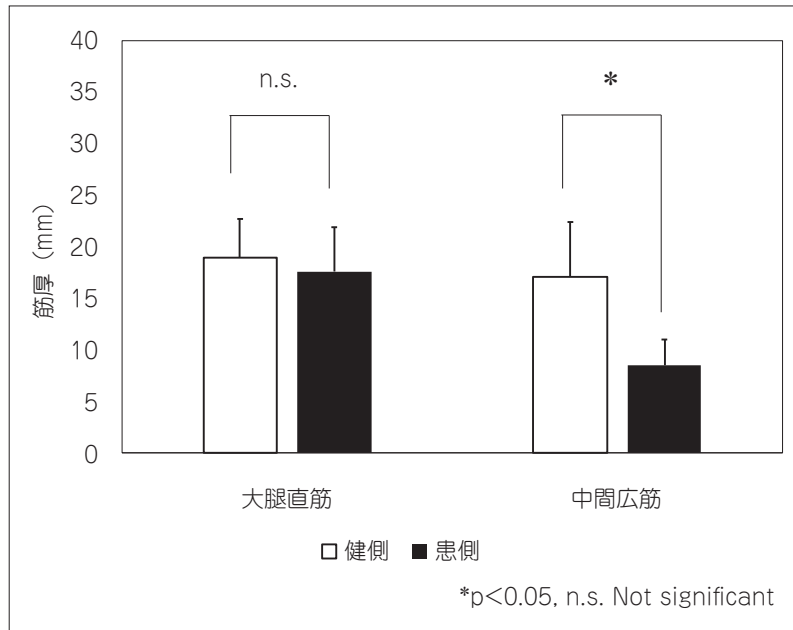


図2 大腿直筋と中間広筋の筋厚の比較

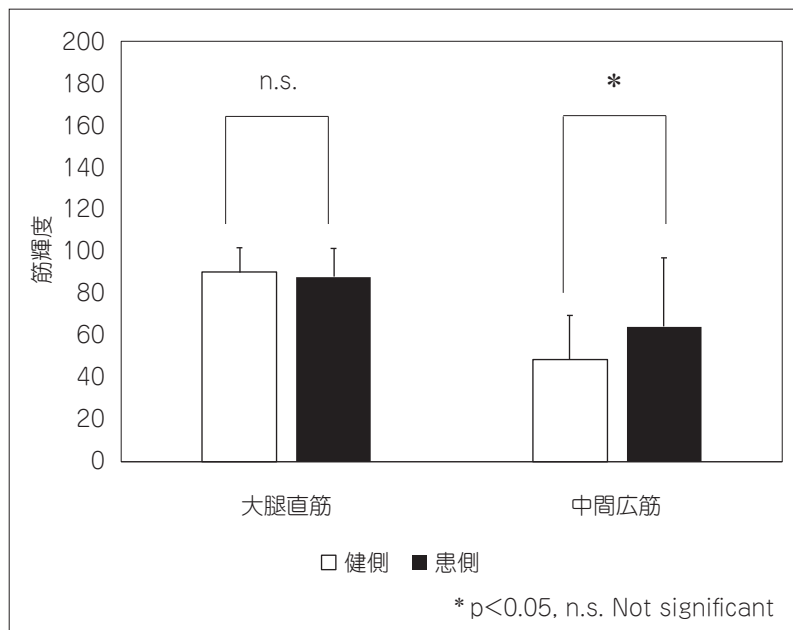


図3 大腿直筋と中間広筋の筋輝度の比較

の差を調べたところ、Non-copersはcopersと比べて中間広筋と内側広筋の横断面積が有意に少なかったと報告している¹²⁾。これらの報告より、ACL損傷後の膝関節安定性には中間広筋が寄与している可能性がある。

筋萎縮に伴い筋厚と筋輝度は変化するが、これらの変化は骨格筋の部位によって異なるようである。運動器疾患を例に挙げると、Fukumotoらは、変形性股関節症では中殿筋と腹直筋の筋厚に変化

はなかったが、筋輝度は増加していた。一方で、大腿四頭筋では筋厚の減少と筋輝度の増加の双方が生じていたと報告している¹³⁾。また、Taniguchiらは、重度の変形性膝関節症では、内側広筋と中間広筋の筋厚が減少し、筋輝度は増加していたと報告している¹⁴⁾。本研究の結果も、ACL損傷後の大腿四頭筋の筋厚と筋輝度に部位差が見られた。すなわち、患側の中間広筋では筋厚の減少と、筋輝度の増加が示された。しかし、大腿直筋では差

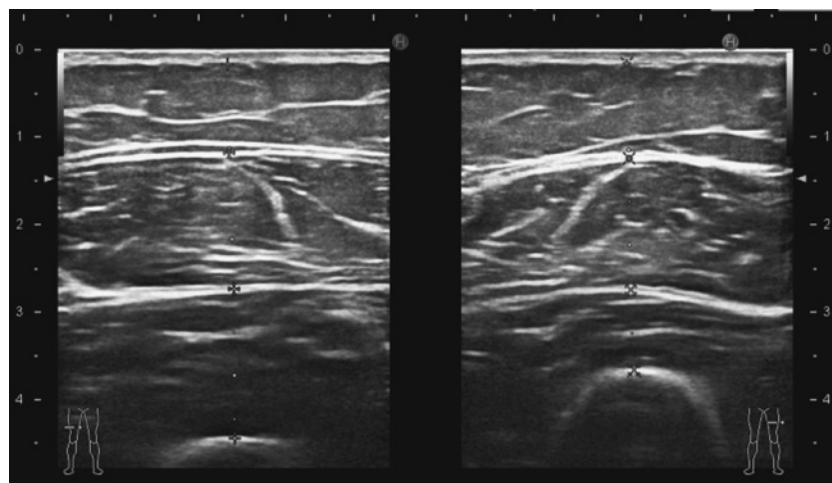


図4 筋厚と筋輝度の健患比較

15歳女性，左ACL再建術後3週

左：健側，右：患側

(1) 筋厚：大腿直筋（健側15.7mm，患側14.8mm），中間広筋（健側17.2mm，患側9.2mm）

(2) 筋輝度：大腿直筋（健側103.2，患側100.6），中間広筋（健側48.0，患側59.3）

は見られなかった。これがACL損傷に特徴的な変化なのかどうか，さらに症例を増やして検討する必要がある。

中間広筋は大腿四頭筋に占める筋量が3割程度にもかかわらず，最大膝伸展トルクのおよそ50%を出力していると報告されている⁷⁾。また，中間広筋の筋厚が膝屈曲90°での膝伸展筋力の予測因子であることや¹⁵⁾，ACL再建後の最大等尺性随意筋力は中間広筋の横断面積と相関することも報告されている⁶⁾。これらの報告からも中間広筋は膝の伸展筋力に大きく貢献している可能性がある。ACL再建後は膝伸展筋力の低下が課題であるが，これには，中間広筋の量の減少や質の低下が影響していると推測される。

近年，筋輝度の測定は，筋内の脂肪組織や結合組織といった非収縮組織の評価が可能であると考えられている¹⁰⁾。本研究における中間広筋の筋輝度の増加は，中間広筋の脂肪化に伴い結合組織が増加していることを意味すると考えられる。動物モデルでは，骨格筋の衛星細胞が少なくなると結合組織などの細胞外マトリクスが増加することが報告されている¹⁶⁾。ヒトにおいても，ACL損傷によって外側広筋の細胞外マトリクスの増加と衛星細胞の減少が観察され，この現象はACL再建術後にスポーツへ復帰した時点でも変わらないと報告されている¹⁷⁾。ACL再建後，大腿四頭筋の回復

に時間がかかるのは衛星細胞の減少と細胞外マトリクスの増加が一因と推測される。このような変化に筋の脂肪化が加わって筋力低下を招いている可能性がある。一度筋が萎縮すると回復が難しいため，ACL損傷後は中間広筋の萎縮を意識したりハビリテーションの早期介入が必要であろう。

本研究結果からACL損傷後のリハビリテーションでは，中間広筋の回復が課題の一つであることが推測される。筋力トレーニングによって筋量の増加だけでなく，筋内脂肪が減少することも報告されている¹⁸⁾。特に高速度での筋力トレーニングは筋内脂肪減少に有効であることが示唆されている¹⁹⁾。今後，ACL損傷後の中間広筋の役割をさらに明らかにしていく必要がある。

本研究では，超音波診断装置を利用してACL再建術後の大腿四頭筋の萎縮について検討した。超音波診断装置から得られる筋厚や筋輝度はMRIやCTとの相関があり，骨格筋の状態を表す有用な指標であると考えられる。また，安全かつ簡便に利用できるため臨床やスポーツ現場において広く応用できる可能性がある。

本研究の限界は，ACL再建術から平均1ヵ月後の1点での評価であり，筋萎縮が損傷によるものか再建術によるものか明確でないことである。また，対象とする筋が大腿直筋と中間広筋の2つの筋のみであることが挙げられる。さらに，症例数

が少ないため、今後は症例数や対象となる筋を増やして ACL 損傷後の筋の変化を縦断的に検証していきたい。

■ 結 語

ACL 損傷後、中間広筋では筋厚の減少と、筋輝度の増加がみられ、萎縮の程度は大腿直筋よりも顕著であった。ACL 損傷後の中間広筋の萎縮についてさらなる研究が必要である。

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) Abe T, Sakamaki M, Yasuda T, et al. Age-related, site-specific muscle loss in 1507 Japanese men and women aged 20 to 95 years. *J Sports Sci Med*. 2011; 10: 145-150.
- 2) Thomason DB, Booth FW. Atrophy of the soleus muscle by hindlimb unweighting. *J Appl Physiol*. 1990; 68: 1-12.
- 3) LeBlanc AD, Schneider VS, Evans HJ, et al. Regional changes in muscle mass following 17 weeks of bed rest. *J Appl Physiol*. 1992; 73: 2172-2178.
- 4) Kawakami Y, Muraoka Y, Kubo K, et al. Changes in muscle size and architecture following 20 days of bed rest. *J Gravit Physiol*. 2000; 7: 53-59.
- 5) Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, et al. Quadriceps Weakness, Atrophy, and Activation Failure in Predicted Noncopers after Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med*. 2005; 33: 402-407.
- 6) Kuenze CM, Blemker SS, Hart JM. Quadriceps function relates to muscle size following ACL reconstruction. *J Orthop Res*. 2016; 34: 1656-1662.
- 7) Zhang L-Q, Wang G, Nuber GW, et al. In vivo load sharing among the quadriceps components. *J Orthop Res*. 2003; 21: 565-571.
- 8) Bullen LE, Evola MG, Griffith EH, et al. Validation of ultrasonographic muscle thickness measurements as compared to the gold standard of computed tomography in dogs. *PeerJ*. 2017; 5: e2926.
- 9) Young H-J, Jenkins NT, Zhao Q, et al. Measurement of intramuscular fat by muscle echo intensity. *Muscle Nerve*. 2015; 52: 963-971.
- 10) Pillen S, Tak RO, Zwarts MJ, et al. Skeletal Muscle Ultrasound: Correlation Between Fibrous Tissue and Echo Intensity. *Ultrasound Med Biol*. 2009; 35: 443-446.
- 11) Nakamura E, Mizuta H, Kubota K, et al. The Atrophy and Weakness of the Thigh Muscles after Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Orthop Traumatol*. 1991; 40: 20-25.
- 12) Macleod TD, Snyder-Mackler L, Buchanan TS. Differences in neuromuscular control and quadriceps morphology between potential copers and non-copers following anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014; 44: 76-84.
- 13) Fukumoto Y, Ikezoe T, Tateuchi H, et al. Muscle Mass and Composition of the Hip, Thigh and Abdominal Muscles in Women With and Without Hip Osteoarthritis. *Ultrasound Med Biol*. 2012; 38: 1540-1545.
- 14) Taniguchi M, Fukumoto Y, Kobayashi M, et al. Quantity and Quality of the Lower Extremity Muscles in Women with Knee Osteoarthritis. *Ultrasound Med Biol*. 2015; 41: 2567-2574.
- 15) Ando R, Saito A, Umemura Y, et al. Local architecture of the vastus intermedius is a better predictor of knee extension force than that of the other quadriceps femoris muscle heads. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2015; 35: 376-382.
- 16) Fry CS, Lee JD, Mula J, et al. Inducible depletion of satellite cells in adult, sedentary mice impairs muscle regenerative capacity without affecting sarcopenia. *Nat Med*. 2015; 21: 76-80.
- 17) Noehren B, Andersen A, Hardy P, et al. Cellular and Morphological Alterations in the Vastus Lateralis Muscle as the Result of ACL Injury and Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2016; 98: 1541-1547.
- 18) Sipilä S, Suominen H. Quantitative ultrasonography of muscle: detection of adaptations to training in elderly women. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996; 77: 1173-1178.
- 19) Fukumoto Y, Tateuchi H, Ikezoe T, et al. Effects of high-velocity resistance training on muscle function, muscle properties, and physical performance in individuals with hip osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2014; 28: 48-58.

(受付：2018年11月9日，受理：2019年7月23日)

Muscle thickness and echo-intensity in the vastus intermedius after anterior cruciate ligament injury

Kawamichi, K.^{*1}, Suzue, N.^{*2}, Yamaguchi, T.^{*3}

^{*1} Department of Rehabilitation Medicine, National Hospital Organization East Tokushima Medical Center

^{*2} Department of Orthopedics, Tokushima Red Cross Hospital

^{*3} Faculty of Integrated Arts and Sciences, Tokushima University

Key words: Anterior cruciate ligament, vastus intermedius, Ultrasonic diagnostic equipment

[Abstract] Anterior cruciate ligament (ACL) injury causes atrophy of the quadriceps. Only very few reports have described the ultrasonographic characteristics of the muscle groups comprising the quadriceps. We investigated the muscle thickness and echo-intensity of the quadriceps muscle, focusing on the vastus intermedius (VI) and the rectus femoris (RF). The study included 6 patients (2 men and 4 women) who underwent ACL reconstruction. Echo-intensity and the muscle thickness of the RF did not significantly differ between the operated and unoperated legs. Muscle thickness of the VI in the operated leg was significantly lower than that in the unoperated leg (8.5 ± 2.5 mm vs. 17.1 ± 5.3 mm, $p=0.0313$). Echo-intensity of the VI in the operated leg was significantly higher than that in the unoperated leg (64.4 ± 32.6 vs. 48.5 ± 21.1 , $p=0.0313$). We concluded that changes in echo-intensity and muscle thickness are more likely to occur in the VI than in the RF after ACL injury. Rehabilitation programs after ACL injury should focus on the VI.