

# 超音波画像診断装置を用いた筋量・筋質評価

赤澤 直紀<sup>1)</sup>

## はじめに

2018年に発表された世界規模での低栄養診断基準 (Global Leadership Initiative on Malnutrition: 以下、GLIM 基準)<sup>1)</sup>において、筋量の評価が現症評価の1つとして含まれたことは、大きな話題となった。本邦では2024年度の診療報酬改定により、回復期リハビリテーション病棟入院料1において、入退院時の栄養状態の評価にGLIM基準を用いることが要件とされた。これらの背景から、栄養理学療法における筋量評価は、学術的にも臨床的にも極めて重要であるといえる。

筋量評価は一時点のみでなく、経時的に実施し、その変化を詳細にモニタリングする必要がある。また、評価には非侵襲的かつベッドサイドで簡便に使用できる機器の活用が望ましい。これらの点を踏まえると、超音波画像診断装置は栄養理学療法における筋量評価に不可欠なツールであると考えられる。実際、GLIM基準においても超音波画像診断装置の使用は推奨されている<sup>1)</sup>。本稿では、まず超音波画像診断装置を用いた筋量評価の方法と、それに関連する知見について紹介する。

低栄養診断において筋量評価の重要性が認識される一方で、近年は筋質評価にも注目が集まりつつある。2019年には、European Working Group on Sarcopenia in Older People 2が、サルコペニアの診断において筋量のみならず筋質の評価も重要であることを強調した<sup>2)</sup>。また、Sarcopenia Definition and Outcomes Consortiumは、二重エネルギーX線吸収測定法によって測定された筋量は、死亡率の予測因子とはならないと指摘している<sup>3)</sup>。これらの知見を踏まえ、今後の栄養理学療法では、筋量に加え筋質に関する議論がより活発になると予想される。そこで本稿の後半では、超音波画像診断装置を用いた筋質評価についても取り上げる。

## 超音波画像診断装置を用いた筋量評価

超音波画像診断装置で測定される筋厚は、筋量の指標として広く活用されている。筋厚が筋量を反映する指標として妥当であることは、Magnetic Resonance Imaging (MRI) を用いた研究により報告されている<sup>4)</sup>。実際の測定では、様々な筋が対象となるが、なかでも大腿四頭筋が最も頻繁に選択されている。大腿四頭筋の筋量は、四肢筋のなかでも加齢や廃用の影響を受けやすく、運動機能とも密接に関連することが報告されている<sup>5)6)</sup>。さらに、2021年に国際リハビリテーション医学会から報告されたサルコペニアの診断基準 (IsarcoPRM) においても、超音波画像診断装置で測定される大腿四頭筋 (大腿直筋および中間広筋) の筋厚、すなわち「Sonographic Thigh Adjustment Ratio」が筋量の評価指標として採用されている<sup>7)</sup>。これらの知見を踏まえると、大腿四頭筋を筋厚測定の対象筋とすることは妥当であると考えられる。

### 1. 超音波画像診断装置を用いた筋厚評価の実際

超音波画像診断装置を用いて骨格筋を撮像する場合は、Bモード (Brightness mode) の設定で、周波数5～10 MHzのリニア型プローブを使用する。リニア型プローブは高周波数の超音波を用いるため、高解像度の画像を得ることができる。プローブには他にコンベックス型やセクター型があるが、骨格筋の撮像にはリニア型が最も適している。撮像される画像には、短軸像と長軸像の2種類がある。短軸像は、筋の走行に対して垂直にプローブを当てて撮影された画像であり、長軸像は筋の走行に平行にプローブを当てて撮影されたものである。筋厚の測定には一般的に短軸像が用いられることが多い。図1には、代表的な大腿四頭筋の超音波画像 (短軸像) を示す。

大腿四頭筋の筋厚測定は、一般的に背臥位で実施され

1) 名古屋大学大学院医学系研究科総合保健学専攻予防・リハビリテーション科学創生理学療法学講座

ることが多い。姿勢変換が筋厚に与える影響を検討した研究によると、立位から背臥位に移した直後、5分後、10分後、15分後の4時点において、大腿四頭筋の筋厚に有意な差は認められなかったことが報告されている<sup>8)</sup>。この結果から、姿勢変換に伴う体液の流動は大腿四頭筋の筋厚に影響を及ぼさないと考えられ、測定に際して姿勢変換後の安静臥床時間を特別に設ける必要はないと考える。測定時には、プローブを皮膚面に対して垂直に、かつ軽く当てることが基本である。特に注意すべき点と

して、プローブによる圧迫で筋厚が容易に変化するため、最小限の圧迫力で撮像を行う必要がある。加えて、凹凸のある部位では圧迫力が局所的に強くなりやすいため、十分な量のジェルを使用し、プローブが皮膚を圧迫しないよう配慮することが重要である。特に、プローブの両端と皮膚面との間にジェルが不十分な場合、画像の両端に映像欠損が生じることがある。そのため、ジェルはプローブ全体、特に両端部にも十分に塗布することが求められる。超音波画像診断装置による大腿四頭筋の撮像は短時間で実施可能であり、近年では比較的安価なポータブル型の機器も普及している。これにより、超音波を用いた筋量評価は、急性期・回復期・維持期の医療現場はもとより、介護領域や健康増進領域においても簡便に導入できると考えられる。

筋厚の具体的な測定方法としては、超音波機器に搭載された測定機能を用いる方法のほか、フリーソフトである画像解析ソフト「Image J」を用いる方法も広く活用されている。大腿四頭筋の筋厚は、一般に大腿直筋（表層の筋膜から深層の筋膜までの距離）および中間広筋（表層の筋膜から大腿骨表面までの距離）をそれぞれ測定し、それらを合算した値として扱う方法（図1）と、大腿直筋の表層筋膜から大腿骨表面までの距離を単独で測定する方法の2通りがある。測定部位としては、以下のような解剖学的ランドマークがよく用いられている：上前腸骨棘から膝蓋骨上縁の midpoint<sup>9)</sup>、大転子から外側上顆の midpoint<sup>7)</sup>、および上前腸骨棘から膝蓋骨上縁の70%遠位点<sup>10)</sup> などである。

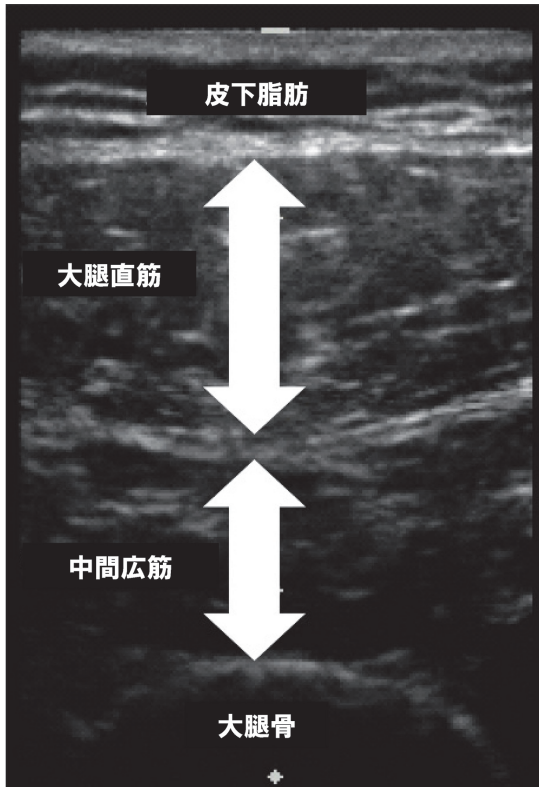
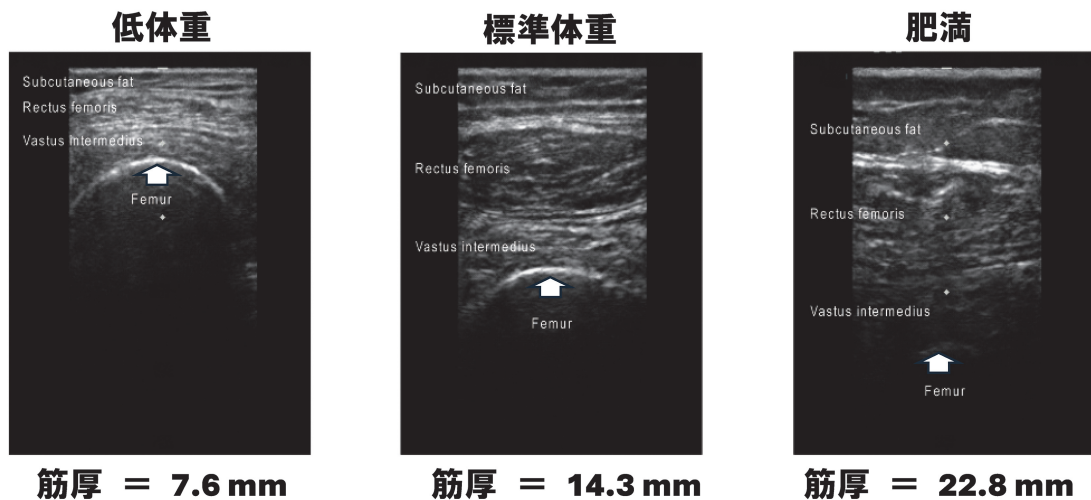


図1. 大腿四頭筋の超音波画像

## 2. 筋厚評価から得られる情報

図2に、低体重、標準体重、肥満の慢性期脳卒中患者における大腿四頭筋の超音波画像を示す<sup>11)</sup>。各画像の最上層には皮膚および皮下組織が確認でき、その下層に



Subcutaneous fat: 皮下脂肪, Rectus femoris: 大腿直筋, Vastus intermedius: 中間広筋, Femur: 大腿骨

図2. 低体重、標準体重、肥満の慢性期脳卒中患者の超音波画像（文献11より作成）

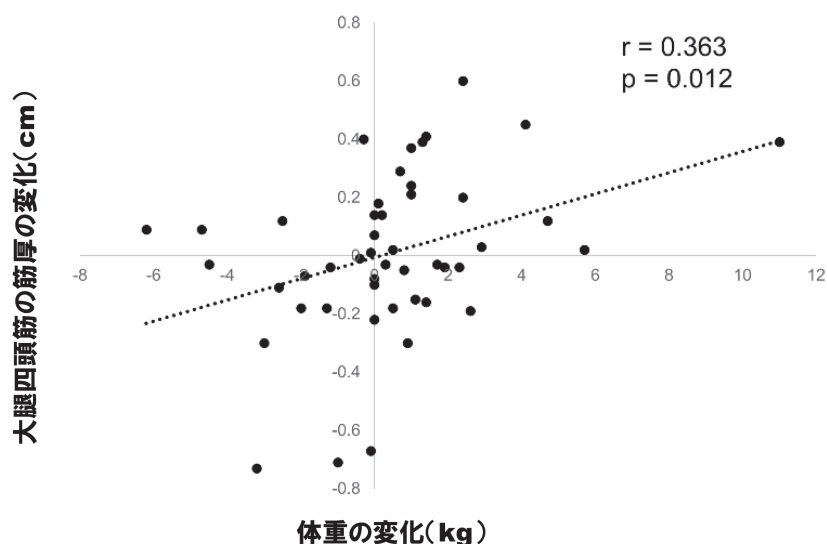


図3. 体重変化と大腿四頭筋の筋厚変化の相関図（文献14より作成）

大腿直筋および中間広筋が観察される。さらに、中間広筋の下方には大腿骨面が位置している。低体重の患者では、大腿四頭筋の筋厚が7.6 mmと薄いため、超音波がほとんど減衰せずに大腿骨面まで到達し、同部での強い反射が明瞭に観察される（図2の矢印）。一方、筋厚が22.8 mmである肥満患者では、超音波は筋組織を通過する過程で大きく減衰し、大腿骨面からの反射はわずかに確認できる程度である（同図の矢印）。

### 3. 大腿四頭筋の筋厚と GLIM 基準における BMI 区分との関連

GLIM 基準が発表された当初、表現型基準のうちアジア人における低BMIの中等度および重度を区分するカットオフ値は明示されていなかった。その後、Maedaら<sup>12)</sup>は急性期病院の入院患者を対象に、入院中の死亡をアウトカムとして、GLIM 基準における重度低BMIと中等度低BMIを区別するカットオフ値を検討し、70歳未満では17.0 kg/m<sup>2</sup>、70歳以上では17.8 kg/m<sup>2</sup>が適切であることを報告した。

著者ら<sup>13)</sup>は、70歳以上の高齢入院患者345名を対象に、Maedaら<sup>12)</sup>が報告した重度低BMIと中等度低BMIのカットオフ値（17.8 kg/m<sup>2</sup>）の妥当性を、超音波画像診断装置により測定された大腿四頭筋の筋厚の観点から検討した。その結果、重度低BMI群では、大腿四頭筋の筋厚が中等度低BMI群および標準BMI群よりも有意に低値を示し、中等度低BMI群においても標準BMI群に比べて筋厚が減少していることが明らかとなった。本調査<sup>13)</sup>では、前述の低BMIのカットオフ値（17.8 kg/m<sup>2</sup>）を適用した結果、27.8%が重度低BMI、23.5%が中等度低BMIに該当することが示された。重度および中等度低BMI群では大腿四頭筋の筋量が減少していることから、70歳以上の高齢入院患者のおよそ

約半数は、大腿四頭筋の筋量が低下している可能性がある」と解釈する必要がある。つまり、これらの患者は低栄養に起因する不良アウトカムのハイリスク群であることを念頭に置く必要がある。臨床において、すべての患者に対して超音波画像診断装置による大腿四頭筋の筋厚測定を行うことが理想であるが、現実的には困難である。そこで、大腿四頭筋の筋量低下をおおまかに推測するスクリーニング指標として、BMIを活用する視点が重要となる。すなわち、70歳以上の高齢者においてBMIが17.8 kg/m<sup>2</sup>未満であれば、大腿四頭筋の筋量が著しく低下している可能性が高いと認識し、経時的に大腿四頭筋の筋厚をモニタリングすることが重要になる。

さらに著者らは、重度低BMI群における体重変化と大腿四頭筋の筋厚変化との縦断的関連についても検討した<sup>14)</sup>。その結果、両者の間には正の相関関係があることが明らかとなった（図3）。この結果は、重度低BMI者において、体重管理が大腿四頭筋の筋量維持・改善に寄与する可能性があることを示す重要な知見であると考えられる。

### 超音波画像診断装置を用いた筋質評価

筋は超音波の透過性が高いため、超音波画像では黒く映る。しかし、筋内に脂肪や結合組織といった非収縮組織が増加すると、筋内で超音波が反射し、筋の輝度が増加し、白っぽく映るようになる。超音波測定装置で測定される筋輝度は、筋の質（筋内の脂肪や結合組織などの非収縮組織）を反映していることが、筋生検やMRIを用いた研究で明らかにされている<sup>15)16)</sup>。また、筋輝度の測定は筋厚測定と同様に様々な筋に対して行われるが、大腿四頭筋が対象として選ばれることが多い。

大腿四頭筋の筋輝度は、筋力<sup>17)</sup>、日常生活活動（以

下、ADL)<sup>18)</sup>、低栄養リスク<sup>19)</sup>、嚥下能力<sup>20)</sup>、入院関連合併症<sup>21)</sup>、自宅復帰率<sup>22)</sup>と関連していることが知られている。これらを考慮すると、大腿四頭筋を筋輝度測定の対象筋として選ぶことは適切であると考えられる。

### 1. 超音波画像診断装置を用いた筋輝度評価の実際

筋厚測定と同様に、筋輝度測定もBモードの設定で、プローブは5～10 MHzのリニア型を使用する。筋輝度を測定する場合も、筋厚測定と同じく、長軸像よりも短軸像がよく使用される。大腿四頭筋の筋輝度測定は背臥位（仰向け）で行われることが多いが、立位から背臥位に変えた直後と比較して、5分後、10分後、15分後の筋輝度は有意に増大したが、5分後と15分後の間には有意差が見られなかった<sup>8)</sup>。このことから、立位から背臥位に移行した後、5分間は体液の流動が影響し、筋輝度が上昇する可能性があるため、筋輝度測定は5分経過してから行うことが推奨される。

筋輝度測定時のプローブの扱いは筋厚測定と同様であるが、特に重要なのは、プローブを皮膚面に対して垂直に軽く当てることである。皮膚面に対するプローブの傾きが前後に10°異なると、筋輝度が15%低下することが報告されている<sup>23)</sup>。また、ジェルを十分に使用することも必須である。ジェルが不十分だと、超音波が十分に体内に届かず、筋輝度の測定に影響を及ぼす可能性がある。

筋輝度の算出には8-bit gray-scaleを使用し、対象筋の個々のピクセルについて数値化する。黒色は0、白色は255の256段階で計測され、任意単位（arbitrary unit：a.u.）で表される。数値が大きいくほど筋輝度が高く、筋内の脂肪や結合組織が多いことを示す。測定領域としては、可能な限り筋実質の領域を囲むことが重要である。筋膜をなぞると、筋輝度が大きく増加するため、筋膜は避けて囲むようにする（図4）。筋輝度測定には、様々な画像解析ソフトが使用可能であるが、無料で使える「Image J」などのソフトがよく用いられる。筋輝度を検者が目視で主観的に判断する方法として、「Heckmattスケール」<sup>24)</sup>があるが、このスケールは筋輝度を4段階で評価するため、可能であれば画像解析ソフトを用いて客観的に評価することが推奨される。また、超音波画像において、ゲイン（信号の増幅）やフォーカス位置が筋輝度に大きな影響を与えることがある。例えば、同一の超音波画像の場合、ゲイン49 dBでは筋輝度が35.35（a.u.）、ゲイン75 dBでは筋輝度が123.77（a.u.）、ゲイン25 dBでは筋輝度が2.83（a.u.）となる<sup>25)</sup>。そのため、筋輝度測定時にはゲインの均一化が重要である。さらに、対象者間で筋輝度を比較する場合には、フォーカス位置も均一化することが望ましい。

超音波は深層に進むほど減衰するため、筋厚が厚い対象の場合、中間広筋の筋輝度が適切な値にならない場合がある（超音波の減衰によって、中間広筋の表層でも筋

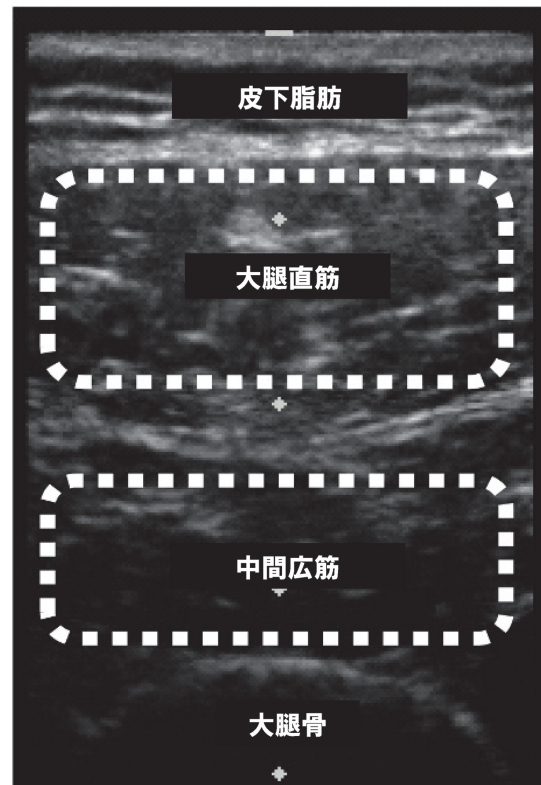


図4. 大腿四頭筋の筋輝度測定範囲（文献26より作成）

輝度が極端に低下する)。そのため、筋輝度測定においては、筋厚が薄い対象（ADLが低下した高齢入院患者など）でなければ、大腿直筋のみの筋輝度解析とする方が良いと考えられる。また、筋輝度は皮下脂肪厚の影響も受けることが報告されている（皮下脂肪厚が厚いと筋輝度が低下する）<sup>27)</sup>。そのため、筋輝度を解析するには、皮下脂肪厚を考慮する（統計学的に補正を試みるなど）ことが重要であると考えられる。

大腿四頭筋の筋輝度は、大腿直筋と中間広筋の筋輝度を測定し、その両筋の平均値をデータ解析に採用する場合や、大腿直筋のみの筋輝度の平均値を採用する場合が想定される。測定箇所は筋厚測定同様に、上前腸骨棘から膝蓋骨上縁の midpoint<sup>9)</sup>、大転子から外側上顆の midpoint<sup>7)</sup> や上前腸骨棘から膝蓋骨上縁の遠位70%<sup>11)</sup>で測定されることが多い。

### 2. 大腿四頭筋の筋輝度と低栄養リスクおよびADLとの関連

著者らは、高齢入院患者において大腿四頭筋の筋輝度が高いほど低栄養リスクが高いことを報告している<sup>19)</sup>。筋輝度の増大は、筋内に脂肪組織や結合組織が多いことを示すため、重度低栄養リスクを有する高齢入院患者では、それらが低栄養リスクなしの患者よりも多いことが推察される。これら的大腿四頭筋の筋輝度と低栄養リスクとの関連は、筋質評価が栄養評価として重要である可

能性を示唆している。さらに著者らは、高齢入院患者の回復期リハビリテーション病棟入院時の大腿四頭筋の筋輝度と退院時のADLとの間に負の関連性があることを明らかにしている（入院時に大腿四頭筋の筋輝度が高い患者ほど、退院時のADLが低い<sup>18)</sup>。あわせて、高齢入院患者の回復期リハビリテーション病棟入院中における大腿四頭筋の筋輝度の減少（筋質の改善）が筋厚の増大よりもADLの改善と関連することも示している<sup>28)</sup>。つまり、高齢入院患者の大腿四頭筋の筋輝度は、ADL回復を予測する重要な指標となり得ると考えられる。

## おわりに

超音波画像診断装置で測定された大腿四頭筋の筋厚は、様々なリハビリテーションアウトカムと関連している。これらを踏まえると、筋厚は栄養学療法において常にモニタリングされるべき重要な評価項目であると考ええる。一方、筋厚のみでは患者の状態を十分に把握できない場合もある。そのため、より深く患者の状態を評価するためには、筋輝度を用いた筋質評価が不可欠である。本稿で示した内容が、超音波画像診断装置を用いて測定された筋厚・筋質の臨床活用を促進する一助となれば幸いである。

## 文 献

- 1) T Cederholm, G L Jensen, M I T D Correia, et al.: GLIM criteria for the diagnosis of malnutrition – A consensus report from the global clinical nutrition community. *Clin Nutr.* 2019; 38(1): 1-9.
- 2) Alfonso J Cruz-Jentoft, Gölistan Bahat, Jürgen Bauer, et al.: Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019; 48(1): 16-31.
- 3) Shalender Bhasin, Thomas G Travison, Todd M Manini, et al.: Sarcopenia Definition: The Position Statements of the Sarcopenia Definition and Outcomes Consortium. *J Am Geriatr Soc.* 2020; 68(7): 1410-1418.
- 4) Masae Miyatani, Hiroaki Kanehisa, Masamitsu Ito, et al.: The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 91(2-3): 264-272.
- 5) Takashi Abe, Mikako Sakamaki, Tomohiro Yasuda, 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(1): 145-150.
- 6) Naoki Akazawa, Naomi Okawa, Kimiyuki Tamura, et al.: Relationships between intramuscular fat, muscle strength and gait independence in older women: A cross-sectional study. *Geriatr Gerontol Int.* 2017; 17(10): 1683-1688.
- 7) Murat Kara, Bayram Kaymak, Walter Frontera, et al.: Diagnosing sarcopenia: Functional perspectives and a new algorithm from the ISarcoPRM. *J Rehabil Med.* 2021; 53(6): jrm00209.
- 8) Pedro Lopez, Matheus Daros Pinto, Ronei Silveira Pinto: Does Rest Time before Ultrasonography Imaging Affect Quadriceps Femoris Muscle Thickness, Cross-Sectional Area and Echo Intensity Measurements?. *Ultrasound Med Biol.* 2019; 45(2): 612-616.
- 9) Yoshihiro Fukumoto, Tome Ikezoe, Yosuke Yamada, et al.: Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(4): 1519-1525.
- 10) Naoki Akazawa, Keita Funai, Toshikazu Hino, et al.: Increased intramuscular adipose tissue of the quadriceps at admission is more strongly related to activities of daily living recovery at discharge compared to muscle mass loss in older patients with aspiration pneumonia. *BMC Geriatr.* 2024; 24(1): 107.
- 11) Naoki Akazawa, Kazuhiro Harada, Naomi Okawa, et al.: Low body mass index negatively affects muscle mass and intramuscular fat of chronic stroke survivors. *PLoS One.* 2019; 14(1): e0211145.
- 12) Keisuke Maeda, Yuria Ishida, Tomoyuki Nonogaki, et al.: Reference body mass index values and the prevalence of malnutrition according to the Global Leadership Initiative on Malnutrition criteria. *Clin Nutr.* 2020; 39(1): 180-184.
- 13) Naoki Akazawa, Masaki Kishi, Toshikazu Hino, et al.: Using GLIM criteria, cutoff value for low BMI in Asian populations discriminates high or low muscle mass: A cross-sectional study. *Nutrition.* 2021; 81: 110928.
- 14) Naoki Akazawa, Keita Funai, Toshikazu Hino, et al.: Change in body weight is positively related to the change in muscle mass of the quadriceps in older inpatients with severely low BMI according to the GLIM criteria. *BMC Geriatr.* 2024; 24(1): 711.
- 15) Sigrid Pillen, Ramon O Tak, Machiel J Zwarts, et al.: Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound Med Biol.* 2009; 35(3): 443-446.
- 16) Hui-Ju Young, Nathan T Jenkins, Qun Zhao, et al.:

- Measurement of intramuscular fat by muscle echo intensity. *Muscle Nerve*. 2015; 52(6): 963-971.
- 17) Naoki Akazawa, Naomi Okawa, Kimiyuki Tamura, et al.: Relationships between intramuscular fat, muscle strength and gait independence in older women: A cross-sectional study. *Geriatr Gerontol Int*. 2017; 17(10): 1683-1688.
  - 18) Naoki Akazawa, Masaki Kishi, Toshikazu Hino, et al.: Increased intramuscular adipose tissue of the quadriceps is more strongly related to declines in ADL than is loss of muscle mass in older inpatients. *Clin Nutr*. 2021; 40(3): 1381-1387.
  - 19) Naoki Akazawa, Naomi Okawa, Toshikazu Hino, et al.: Higher malnutrition risk is related to increased intramuscular adipose tissue of the quadriceps in older inpatients: A cross-sectional study. *Clin Nutr*. 2020; 39(8): 2586-2592.
  - 20) Naoki Akazawa, Naomi Okawa, Toshikazu Hino, et al.: Dysphagia is more strongly associated with increased intramuscular adipose tissue of the quadriceps than with loss of muscle mass in older inpatients. *Nutr Res*. 2019; 65: 71-78.
  - 21) Masaaki Nagae, Hiroyuki Umegaki, Akito Yoshiko, et al.: Echo intensity is more useful in predicting hospital-associated complications than conventional sarcopenia-related parameters in acute hospitalized older patients. *Exp Gerontol*. 2021; 150: 111397.
  - 22) Naoki Akazawa, Keita Funai, Toshikazu Hino, et al.: Greater intramuscular adipose tissue of the quadriceps in older inpatients at post-acute hospital admission is more strongly related to a low rate of home discharge than a loss of muscle mass. *Sci Rep*. 2023; 13(1): 10021.
  - 23) Michael O Harris-Love, Reza Monfaredi, Catheeja Ismail, et al.: Quantitative ultrasound: measurement considerations for the assessment of muscular dystrophy and sarcopenia. *Front Aging Neurosci*. 2014; 6: 172.
  - 24) J Z Heckmatt, S Leeman, V Dubowitz: Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease. *J Pediatr*. 1982; 101(5): 656-660.
  - 25) Wong V, Spitz RW, Bell ZW, et al.: Exercise induced changes in echo intensity within the muscle: a brief review. *J Ultrasound*. 2020; 23(4): 457-472.
  - 26) Naoki Akazawa, Masaki Kishi, Toshikazu Hino, et al.: The degree of recovery in swallowing ability in older inpatients with aspiration pneumonia is related to intramuscular adipose tissue of the quadriceps than to muscle mass. *PLoS One*. 2022; 17(10): e0275810.
  - 27) Eric D Ryan, Nicholas W Shea, Gena R Gerstner, et al.: The influence of subcutaneous fat on the relationship between body composition and ultrasound-derived muscle quality. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016; 41(10): 1104-1107.
  - 28) Naoki Akazawa, Masaki Kishi, Toshikazu Hino, et al.: Longitudinal relationship between intramuscular adipose tissue of the quadriceps and activities of daily living in older inpatients. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021; 12(6): 2231-2237.