

MR画像を用いた大腿骨頸部周囲の 筋肉容積による骨粗鬆症評価の検討

Examination of osteoporosis evaluation by muscle volume around the femoral neck using MR images

橘高 大介¹⁾, 浦田 尚吾²⁾, 安田 光慶³⁾, 佐藤 久弥¹⁾, 加藤 京一⁴⁾

1) 博士 (保健医療学) 昭和大学藤が丘病院 放射線技術部/昭和大学大学院 保健医療学研究科

2) 昭和大学病院 放射線技術部

3) 博士 (保健医療学) 昭和大学病院 放射線技術部/昭和大学大学院 保健医療学研究科

4) 博士 (医学) 学校法人昭和大学 統括放射線技術部/昭和大学大学院 保健医療学研究科

Key words: femoral neck, bone mineral density, muscle volume, dual energy x-ray absorptiometry (DEXA)

【Abstract】

We investigated an alternate method of diagnosing osteoporosis by measuring muscle volume around the femoral neck from hip joint magnetic resonance imaging (MRI), and assessed the accuracy of these results compared to DEXA-based bone density measurements. The axial of the T₁-weighted image of the hip joint was used to measure the muscle volumes of the tensor fasciae latae, middle gluteus, and iliolumbar muscles near the femoral neck.

Muscle volumes of the tensor fasciae latae and middle gluteus muscles showed only low correlations with bone density ($r=0.33$ and 0.45 , respectively). In contrast, muscle volume of the iliolumbar muscle showed a moderately strong correlation ($r=0.67$). In addition, there were significant differences in muscle volumes between the non-osteoporosis group and the osteoporosis group for each muscle, particularly for the iliolumbar muscle. Using a cut-off value for muscle volume of 15.6 cm^3 , the iliolumbar-based diagnosis of osteoporosis had 81.0% sensitivity and 93.9% specificity; this was the highest sensitivity rate for any of the muscle results. We suggest that bone density and osteoporosis can be adequately evaluated and diagnosed using iliolumbar muscle volume as assessed from hip joint MR images.

【要旨】

本研究は、股関節MR画像を利用して大腿骨頸部の周囲の筋肉容積を計測し、骨密度との関係を評価し、骨粗鬆症の診断が可能か検討した。股関節MRI検査のT₁強調画像の水平断像を用いて、大腿骨頸部に近い大腿筋膜張筋・中殿筋・腸腰筋の筋肉容積を計測し、大腿骨頸部の骨密度との関係を求めた。腸腰筋と大腿骨頸部の骨密度は相関係数 $r=0.67$ で、やや正の相関を示した。腸腰筋の筋肉の容積のCut-off値を 15.6 cm^3 とした場合、骨粗鬆症の診断は感度81.0%、特異度93.9%であった。股関節MR画像を利用して腸腰筋の筋肉容積を計測することで骨密度の評価が行え、骨粗鬆症の診断の一助となることが示唆された。

緒 言

世界保健機関 (World Health Organization : WHO) では、骨粗鬆症とは低骨量と骨組織の微細構造の異常を特徴とし、骨の脆弱性^{ぜいじやくせい}が増大し、骨折の危

険性が高くなっている疾患と定義している¹⁾。一方で、骨強度と筋肉量は密接に関係している。カルシウムは筋肉の収縮に必要な成分であり、カルシウム不足の状態になると人の体は骨からカルシウムを取り出し、不足している筋肉や血液に補充する作用が働く。この作用によって骨は脆弱化するため、カルシウムを効果的に摂取できるビタミンDは骨強度を増加させるために重要である。またビタミンDは筋肉の増強に関与している。血液中のビタミンDの濃度が高いと、それに比例して筋力も高いことが報告されている。筋肉にはビタミンDのレセプターがあり、このレセプターにビタミンDが結合することにより筋肉中のタンパク質合成を促進させている²⁾。ビタミンDやビタミンKが不足すると、骨基質タンパク質の変化により骨の脆弱性は高まる。骨粗鬆症の診断は、腰部疼痛などの有症者、検診での要精検者などを対象に原発性骨粗鬆症の診断手順に従って、身体診察、画像診断、血液・尿検査を行い、骨評価 (骨密度測定および脊椎X線撮影) 後、鑑別診断、原発性骨粗鬆症の診断基準を適用して確定する。画像診断における骨密度の測定は、Dual

KITAKA Daisuke, Ph.D.¹⁾, URATA Shogo²⁾,
YASUDA Mitsuyoshi, Ph.D.³⁾, SATO Hisaya, Ph.D.¹⁾,
KATO Kyoichi, Ph.D.⁴⁾

1) Department of Radiological Technology,
Showa University Fujigaoka Hospital/ Showa
University Graduate School of Health Sci-
ences

2) Department of Radiological Technology,
Showa University Hospital

3) Department of Radiological Technology,
Showa University Hospital/Showa University
Graduate School of Health Sciences

4) Showa University Radiological Technology/
Showa University Graduate School of Health
Sciences

Received December 8, 2021; accepted September 12, 2022

Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) 法を用いて、腰椎と大腿骨近位部を測定することが望ましい³⁾。大腿骨近位部の骨密度は、あらゆる骨折の予知能に優れ、大腿骨近位部から頸部の骨密度のうち、Young Adult Mean (YAM) に対するパーセンテージがより低値の方を用いて診断する。腰椎および大腿骨近位部での評価が困難な場合、前腕骨 DEXA 法を施行する。骨粗鬆症による骨折は、主に前腕・股関節・腰椎のレベルで発生し、罹患率と死亡率に関連している。例えば大腿骨頸部骨折は、骨折後の最初の1年で最大36%の死亡率と関連している^{4,5)}。さらに骨粗鬆症は、高齢化社会の決定的な健康問題の一つである。現在、50歳以上の女性の3人に1人、男性の5人に1人が骨粗鬆症性骨折を経験している^{6,7)}。このように、骨粗鬆症は生活機能や生活の質 (Quality of Life: QOL) を低下させるだけでなく、長期的には骨折の有無に関わらず死亡リスクを増大させる。また骨粗鬆症による骨折は、大腿骨近位部骨折のみならず、椎体骨折においても著明な日常生活動作 (Activities of Daily Living: ADL)、QOL 低下と死亡リスクの増大につながる。骨折の発生がその後の新たな骨折発生の危険因子となるため、初発骨折の予防が重要である。しかし、厚生労働省の医療施設 (静態・動態) 調査によると、骨塩定量検査は、1施設当たりの実施患者数が19.8人と他の検査に比べて少ないのが現状である⁸⁾。一方、近年、核磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) は、さまざまな疾患における画像診断で重要な役割を果たしている。MRIは、コンピューター断層撮影 (Computed Tomography: CT) と比較し、軟部組織のコントラスト分解能に優れているため、腱板損傷や肉離れの診断に有用である⁹⁾。

運動機能の測定は日常診療に定着しておらず、股関節屈曲力・歩行速度・握力といった運動機能の低下と筋肉量減少がよく相関したとの報告があり^{10,11)}、本研究は筋肉量に着目した。筋肉容積の測定法はさまざまあるが、CTは他検査に比べ費用と被ばくの問題があるものの、病気の診断・経過観察に必要なCT検査で筋肉量も測定でき、電子カルテに保存された再現性のあるデータを繰り返し確認できる点が有利で、治療成績に関連した報告が多く見受けられる¹²⁻¹⁴⁾。その多くが大腰筋等骨格筋の任意の横断面面積を用いた報告であるが、面積よりも体積の方がより正確に筋肉量を示すことになると考えた。本研究は、股関節の屈曲運動に寄与する腸腰筋の筋肉容積が骨密度と関係があるのではないかと仮説を立て、股関節 MR 画像を利用して大腿骨

頸部の周囲の筋肉容積を計測し、骨密度との関係性を評価し、骨粗鬆症の診断が可能か検討したので報告する。

1. 方法

1-1. 使用機器

骨塩定量装置は、HOLOGIC社製のDiscovery、MRI装置は、シーメンスヘルスケア社製のTrio A Tim (磁場強度:3.0T)を使用した。筋肉容積の計測は、ザイオンソフト社製の3次元解析装置Ziostation2を使用した。スライス厚の検証は、直方体ファントム (300.0cm³)、容積測定精度の検証は、球体ファントム (2800.0cm³) を用いた。ファントムの内容物は塩化ニッケルである。

1-2. 対象症例

2013年1月から2019年3月までの期間において、3カ月以内に股関節MRI検査および骨塩定量検査を行った症例を後方視的に収集した。解析に用いた症例は、男性38人、女性112人、合計150症例とした。平均年齢は70 ± 11歳、体格指数 (Body Mass Index: BMI) は21.5 ± 4.0であった (Table 1)。また骨塩定量検査の大腿骨頸部は左側を用いた。骨塩定量検査および股関節MRI検査のT₁強調画像の撮像条件をTable 2, Table 3に示す。本研究に用いた症例は、人を対象とする研究等に関する倫理委員会の承認を得ている (承認番号:3172)。

1-3. 筋肉容積の計測法

股関節MRI検査のT₁強調画像の水平断像を用いて、大腿骨頸部に近い大腿筋膜張筋・中殿筋・腸腰筋の筋肉容積を計測した (Fig.1-a)。計測範囲は大腿骨頭起始部から小転子までとした (Fig.1-b)。筋肉容積の計測に用いたMR画像のスライス厚は、当院の股関節MRI検査で用いている4.0mmを使用し、大腿骨頭起始部から小転子まで1スライスずつ各筋肉をトレースし計測を行った。また容積が既知の直方体のファントムを用いて、MR画像のスライス厚を3.0mmから7.0mmまで1.0mm間隔で変化させ、各筋肉容積の計測に使用した4.0mmのスライス厚が影響しないことを確認した。容積測定はMRI撮像のGapを考慮せず計測し、各スライス厚に対するGapは20%で行った。各スライス厚で容積を5回計測し、真値との相対誤差を算出した。

Table 1 Patient characteristics

Sex	Males (n=38)	Females (n=112)
Age	70 ± 11years	
BMI	21.5 ± 4.0	
Osteoporosis	n=117	
Non-osteoporosis	n=33	
	Osteoporosis	Non-osteoporosis
Hypertension	n=40	n=11
Diabetes	n=18	n=6
Dyslipidemia	n=12	n=8
Smoking (past smoker)	n=11	n=4
Chronic renal failure	n=12	n=3
Hyperuricemia	n=3	n=3
Dialysis	n=4	n=2
Rheumatoid Arthritis	n=14	n=4
Spinal canal stenosis	n=9	n=1
spinal compression fracture	n=17	n=3
Esophageal cancer	n=1	n=0
Breast cancer	n=5	n=2
Lung cancer	n=8	n=1
Liver cancer	n=3	n=0
Colorectal cancer	n=5	n=0
Rectal cancer	n=2	n=0
Prostate cancer	n=1	n=0
Bladder cancer	n=2	n=0
Renal cancer	n=1	n=0
Ovarian cancer	n=2	n=2
Endometrial cancer	n=2	n=0
Dementia	n=11	n=1
Heart failure	n=10	n=2

Table 2 Imaging conditions for DEXA

	DEXA
Tube voltage (kV)	100/140
Tube current (mA)	10
Measurement distance (cm)	20

Table 3 Imaging conditions for MRI

Sequence	Fast Spin Echo T ₁ WI
FOV (mm)	340 × 340
TR (ms)	474
TE (ms)	8.1
FA (°)	170
Average	1
Gap (%)	20
Band width (Hz/Px)	200
Slice thickness (mm)	4.0
Imaging direction	SI direction
Receive coil	Body Matrix Coil

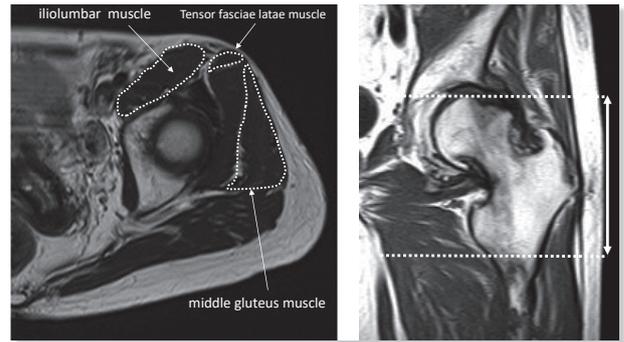


Fig.1-a Tracing method for each muscle volume

Fig.1-b Measurement range

Fig.1 Measurement method for each muscle volume

1-4. 容積の計測精度の検証

容積が既知の球体ファントムをMRI装置で撮像し、3次元解析装置の容積の計測精度を検証した。球体ファントムの容積は、球体ファントムの容積を5回計測し、真値との相対誤差を算出した。撮像スライス厚は4.0mmとした。

1-5. 各筋肉容積における測定者間の再現性

各筋肉容積について、測定者5人で各筋肉容積を3回計測し、測定者間の再現性を評価した。再現性の評価として級内相関係数 (Intraclass Correlation Coefficients : ICC) を用いた。

1-6. 骨密度と各筋肉容積の関係

方法1-3. で計測した各筋肉容積と大腿骨頸部の骨密度の関係性を見るために相関を求めた。

1-7. 各筋肉容積におけるReceiver Operating Characteristic解析

大腿骨頸部の骨密度において、骨粗鬆症と診断された117症例を陽性、骨密度が正常な33症例を陰性とし、各筋肉容積におけるReceiver Operating Characteristic (ROC) 解析を行い、各筋肉容積のCut-off値を算出した。骨粗鬆症の診断は、YAM<70%かつT-Score ≤ -2.5で骨粗鬆症とした¹⁾。また正常群は、骨粗鬆症の治療薬を内服している患者は除外した。

1-8. 筋肉容積のCut-off値の検証

ROC解析で得られたCut-off値が確からしいか、上記の150症例とは別に、本研究に関与しない第三者によって無作為に30症例を抽出し、ROC解析結果から感度および特異度が高かった筋肉容積を計測し、正診率を求めた。

1-9. 統計解析

骨密度および各筋肉容積の統計量は、Anderson-Darling検定を用い正規性を確認した。正規性が確認された場合はPearsonのカイ二乗検定を、正規性が確認されなかった場合はSpearmanの順位相関係数を用いて相関を調査した。同様に正常群と骨粗鬆症群における各筋肉容積の統計解析は、正規性が確認された場合はスチューデントt検定を、正規性が確認されなかった場合はWilcoxonの符号付順位和検定を用いた。p<0.05で有意差ありとした。

2. 結 果

2-1. 容積計測におけるスライス厚の影響

容積が300.0cm³であるファントムを使用し、MRI撮像のスライス厚を3.0mmから7.0mmまで変化させたときの容積の測定結果を示す (Table 4)。MRIの撮像スライス厚を厚くすると計測した容積は増加傾向を示したが、真値との相対誤差は2.5%以下であった。

Table 4 Volume measurement error due to difference in MRI slice thickness

Slice thickness (mm)	Measured value (cm ³)	Relative error (%)
3.0	302.87 ± 1.8	0.96
4.0	303.14 ± 2.3	1.05
5.0	305.10 ± 2.7	1.70
6.0	306.77 ± 3.1	2.26
7.0	307.23 ± 3.9	2.41

2-2. 容積の計測精度の検証

容積が2800.0cm³である球体ファントムをMRI装置で撮像し、その容積を3次元解析装置で計測した結果、2815.1 ± 2.9cm³であり、相対誤差は0.54%であった。

2-3. 各筋肉容積における測定者間の再現性

各筋肉容積における測定者間の再現性は、全ての筋肉容積において高い再現性を示した (ICC=0.964) (Fig.2)。

2-4. 骨密度と各筋肉容積の関係

骨密度と各筋肉容積の統計量は、Anderson-Darling検定の結果、正規分布を示した (骨密度: p<0.0001, 大腿筋膜張筋: p<0.0001, 中殿筋: p=0.006, 腸腰筋: p<0.0001)。よってPearsonのカイ二乗検定を用いて相関を調査した。大腿筋膜張筋と大腿骨頸部の骨密度は、相関係数r=0.33で弱い相関を示した (Fig.3-a)。また中殿筋と大腿骨頸部の骨密度は、相関係数r=0.45で弱い相関を示した (Fig.3-b)。一方、腸腰筋と大腿骨頸部の骨密度は、相関係数r=0.67でやや正の相関を示した (Fig.3-c)。

2-5. 各筋肉容積におけるROC解析

各筋肉容積の統計量は正規性を認めたため、スチューデントt検定を用いた。大腿骨頸部の骨密度が正常群と骨粗鬆症群で有意差を認めた (Fig.4)。大腿骨頸部の骨密度が、正常群と骨粗鬆症群で最も有意差があったのは腸腰筋であった (Fig.4-c)。大腿筋膜張

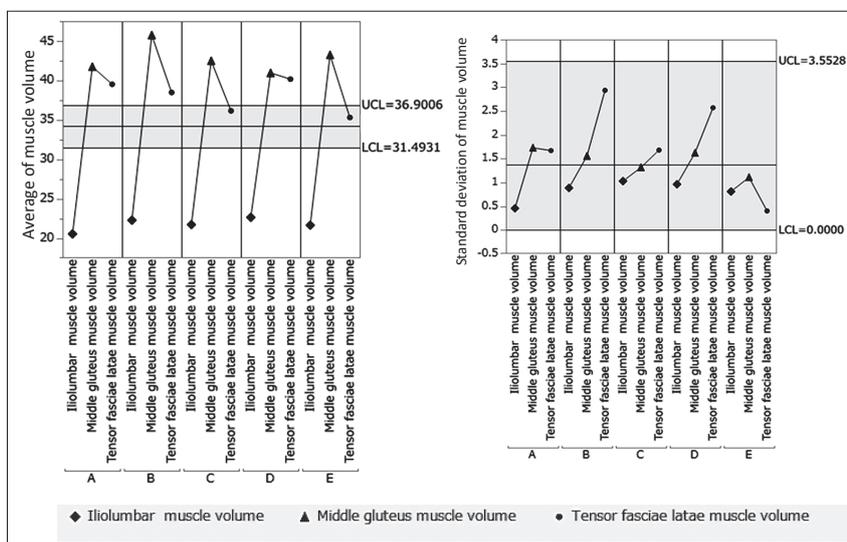


Fig.2 Repeatability between measurers in each muscle volume

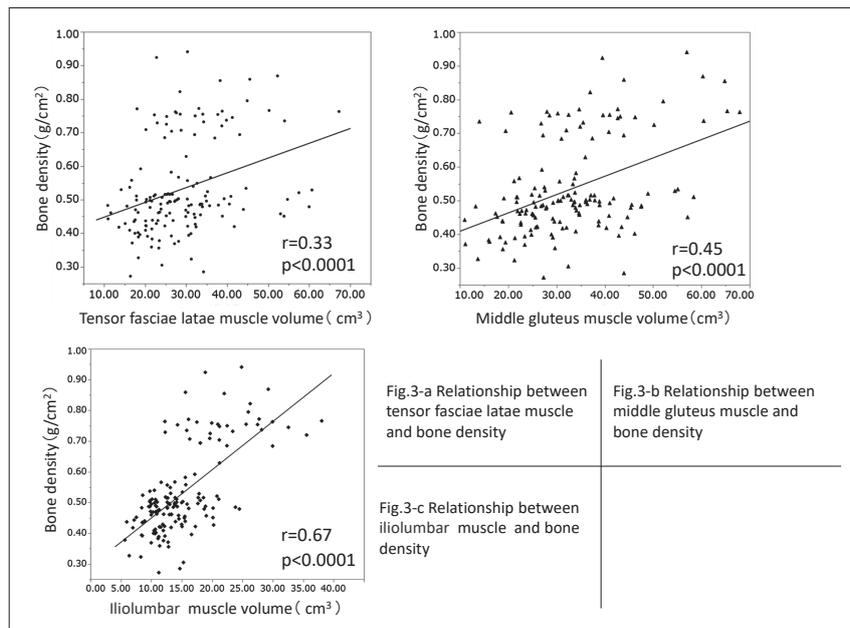


Fig.3 Relationship between each muscle volume and bone density

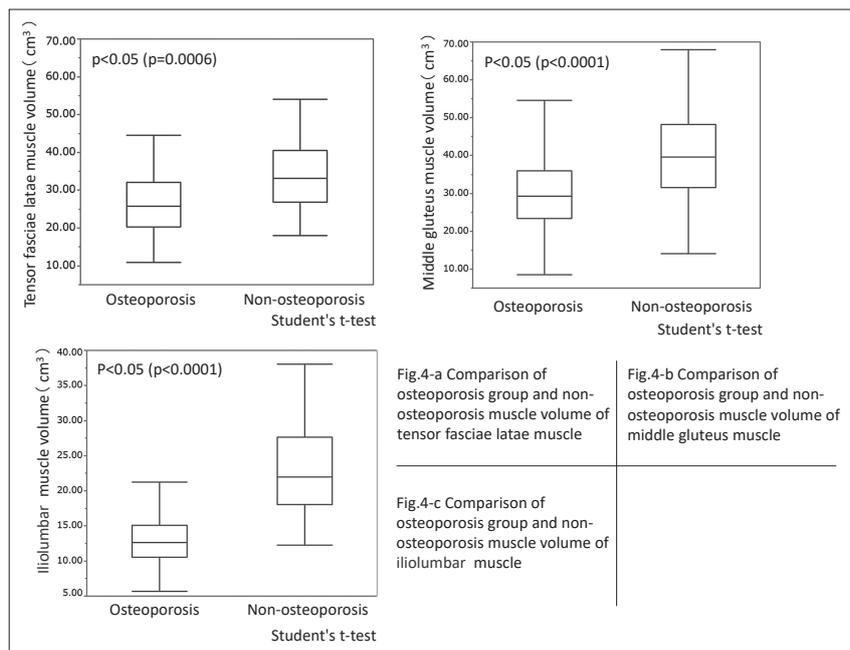


Fig.4 Comparison of each muscle volume between osteoporosis group and non-osteoporosis group

筋の筋肉容積のCut-off値を 27.3cm^3 とした場合、骨粗鬆症の診断は、感度59.5%、特異度75.8%であった (Fig.5-a)。中殿筋の筋肉の容積を 34.7cm^3 とした場合、骨粗鬆症の診断は感度72.4%、特異度69.7%であった (Fig.5-b)。腸腰筋の筋肉の容積のCut-off値を 15.6cm^3 とした場合、骨粗鬆症の診断は感度81.0%、特異度93.9%であった (Fig.5-c)。腸腰筋の筋肉容積が最も骨粗鬆症に対する正診率が高かった。

2-6. 筋肉容積のCut-off値の検証

骨粗鬆症の診断の感度および特異度が高かった腸腰筋を用いて、無作為に選定された30症例の腸腰筋における筋肉の容積を測定した結果、正常群 (10症例) において正診率80%、骨粗鬆症群 (20症例) において正診率100%であった (Table 5)。

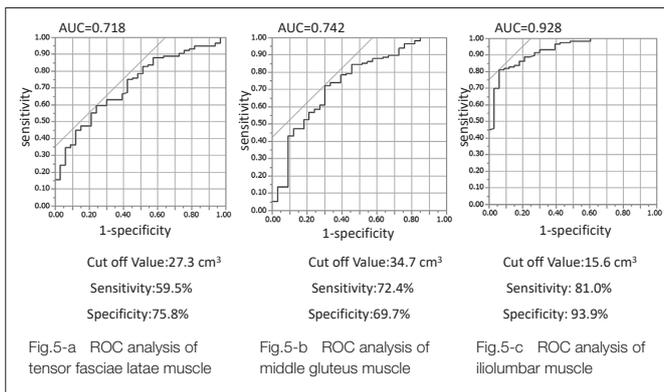


Fig.5 ROC analysis for each muscle volume

Table 5 Accuracy of Cut-off value of iliolumbar muscle

	Osteoporosis n=20	Non-osteoporosis n=10
True positives	20	8
False positives	0	2
Accuracy (%)	100	80

3. 考 察

容積が既知のファントムを用いて、MR画像のスライス厚を3.0mmから7.0mmまで1.0mm間隔で変化させ、各筋肉容積の計測を行った結果、相対誤差は2.5%以下であった。よって各筋肉容積の計測に使用した4.0mmのMR画像のスライス厚は妥当であると考えられた。

容積が既知の球体ファントムを用いて、3次元解析装置における容積の計測精度を検証した結果、相対誤差は0.54%であった。よって計測される筋肉容積の信頼性は高いと考えられた。

各筋肉容積について測定者5人で各筋肉容積を3回計測した結果、全ての筋肉容積において高い再現性が得られた。よって測定者間の筋肉容積の計測は信頼性が高く、大腿骨頸部の骨密度との相関に使用できると考えられた。

大腿筋膜張筋および中殿筋の筋肉容積と大腿骨頸部の骨密度には弱い相関が認められた。また腸腰筋の容積と大腿骨頸部の骨密度にはやや相関が認められた。やや相関を示した理由として、運動によって筋肉に負荷がかかり、骨密度が維持されることで相関が認められたと考えられる。逆にADLが低下し、筋肉量が減少することで骨量が減少し、骨粗鬆症の原因になると考えられる^{15, 16)}。菱沢らは、骨密度は筋力の指標とした握力との間に有意な相関があると報告している¹⁷⁾。骨

は骨にかかる外力に適応して骨強度を変化させるというWolffの法則¹⁸⁾から、筋肉が外力の役目を果たし、筋肉容積と骨密度は相関したと考えられる。骨密度と相関を示した腸腰筋は、股関節の屈曲運動に最も寄与しているため¹⁹⁾、股関節の屈曲運動の低下が大腿骨頸部の骨密度低下に関与すると考えられる。また大腿骨頸部骨折は、外部からの屈曲力より発生するため、股関節の屈曲運動に最も寄与する腸腰筋が、大腿骨頸部の骨密度と相関したと考えられる。一方、股関節の運動において大腿筋膜張筋は股関節の屈曲運動の補助的役割、中殿筋は股関節の外転運動に寄与し、股関節の運動に少なからず関与するため¹⁹⁾、大腿筋膜張筋と中殿筋は大腿骨頸部の骨密度と弱い相関を認めたと考えられる。骨密度に対する関連因子間の強弱を評価するために多変量解析のロジスティクス回帰分析を行った (Table 6)。骨密度は年齢と腸腰筋の容積が有意に関連していた。よって股関節MR画像を用いて腸腰筋の容積を計測することで、大腿骨頸部の骨密度が予測できる可能性があると考えられた。

骨粗鬆症群と正常群で全ての筋肉容積で有意差を認めた。よって大腿骨頸部の骨密度は、筋肉容積が関与していると考えられる。ROC解析結果より、腸腰筋の筋肉容積のCut-off値を15.6cm³にした場合、骨粗鬆症の診断は感度81.0%、特異度93.9%で最も高い正診率が得られた。腸腰筋のCut-off値の確からしさを検証した結果、高い正診率であった。よって本研究で求めた腸腰筋のCut-off値は妥当であると考えられ、股関節MR画像を用いて腸腰筋の筋肉容積を計測することで、骨粗鬆症の診断が可能であると考えられる。しかし、腸腰筋の筋肉容積のCut-off値を15.6cm³にした場合、正常群において骨粗鬆症と診断した症例があった。この症例は骨量減少に起因する高血圧・糖尿病・喫煙が患者背景にあったため偽陽性を呈したと考えられた²⁰⁾。また腸腰筋の筋肉容積のCut-off値を

Table 6 Logistics regression analysis of multivariate analysis

Factor	Logarithmic value	P Value
Age	2.782	0.0017
BMI	0.244	0.5706
Tensor fasciae latae muscle volume	0.196	0.6365
Middle gluteus muscle volume	0.251	0.5613
Iliolumbar muscle volume	5.695	<0.0001

15.6cm³にした場合、本研究に用いた大腿骨頸部の骨密度が正常群であった33症例中2症例が偽陽性を示した。この2症例とも、基礎疾患に高血圧・糖尿病・喫煙の3つが患者背景にあったため偽陽性を呈したと考えられ、腸腰筋の筋肉容積のCut-off値の確からしさを検証した結果と矛盾しない。

本研究の限界点は、股関節MR画像の撮像範囲内に全ての腸腰筋・大腿筋膜張筋・中殿筋が入っていないことが、大腿骨頸部の骨密度との関係を求めるための解析結果にどのように影響するか不明であること、また股関節MRI撮像後、腸腰筋の筋肉容積を計測するまでに時間を要し、大腿骨頸部の骨密度の結果がすぐに算出できないことである。

4. 結語

大腿骨頸部の骨密度は、腸腰筋の筋肉容積と相関を示した。よって股関節MR画像を利用して腸腰筋の筋肉容積を計測することで、骨密度の評価が行え、骨粗鬆症の診断の一助になることが示唆された。

謝辞

本研究に関してご助言を頂きました元昭和大学病院放射線技術部 稲葉涼真氏に深く感謝致します。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

表の説明

Table 1	患者背景
Table 2	骨塩定量検査の撮像条件
Table 3	MRI検査の撮像条件
Table 4	MRI画像のスライス厚の違いによる容積測定誤差
Table 5	腸腰筋の筋肉容積におけるCut-off値の正診率
Table 6	多変量解析のロジスティクス回帰分析

図の説明

Fig.1	各筋肉容積の測定方法
Fig.1-a	各筋肉容積のトレーサ法
Fig.1-b	各筋肉容積の計測範囲
Fig.2	各筋肉容積における測定者間の再現性
Fig.3	各筋肉の容積と骨密度の関係
Fig.3-a	大腿筋膜張筋と骨密度の関係
Fig.3-b	中殿筋と骨密度の関係
Fig.3-c	腸腰筋と骨密度の関係
Fig.4	各筋肉の容積における骨粗鬆症群と正常群の比較
Fig.4-a	大腿筋膜張筋における骨粗鬆症群と正常群の比較

Fig.4-b	中殿筋における骨粗鬆症群と正常群の比較
Fig.4-c	腸腰筋における骨粗鬆症群と正常群の比較
Fig.5	各筋肉の容積におけるROC解析
Fig.5-a	大腿筋膜張筋の容積におけるROC解析
Fig.5-b	中殿筋の容積におけるROC解析
Fig.5-c	腸腰筋の容積におけるROC解析

参考文献

- 折茂 肇, 他: 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン. 2-41, 2015.
- Christian M, et al.: Mice with myocyte deletion of vitamin D receptor have sarcopenia and impaired muscle function. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 10: 1228-1240, 2019.
- A Randel, et al.: Direct clinical and welfare costs of osteoporotic fractures in elderly men and women. *Osteoporos Int*, 5 (6): 427-32, 1995.
- Leib ES, et al.: Official positions of the international society for clinical densitometry. *J Clin Densitom*, 7: 1-5, 2004.
- B. Abrahamsen, et al.: Excess mortality following hip fracture: a systematic epidemiological review. *Osteoporos*, 20: 1633-1650, 2009.
- Joop P. van den Bergh, et al.: Osteoporosis, frailty and fracture: implications for case finding and therapy. *Nat Rev Rheumatol*, 8: 163-172, 2012.
- LJ Melton 3rd, et al.: Perspective. How many women have osteoporosis? *J Bone Miner Res*, 7 (9): 1005-10, 1992.
- 厚生労働省 平成29年 医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/17/>
- Purcell EM, et al.: Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid. *Phys Rev*, 69: 37-38, 1946.
- Hoshikawa Y, et al.: Cross-sectional area of psoas major muscle and hip flexion strength in youth soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 112: 3487-3494, 2012.
- Ito S, et al.: Skeletal muscle mass assessed by computed tomography correlates to muscle strength and physical performance at a liver-related hospital experience. *Hepato Res*, doi: 10.1111/hepr.12537, May 29, 2015.
- Jung H-W, et al.: Effect of muscle mass on toxicity and survival in patients with colon cancer undergoing adjuvant chemotherapy. *Support Care Cancer*, 23: 687-694, 2015.
- Lee J S-J, et al.: Frailty, core muscle size, and mortality in patients undergoing open abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*, 53: 912-917, 2011.
- Sheetz KH, et al.: Decreased core muscle size is associated with worse patient survival following esophagectomy for cancer. *Dis Esophagus*, 26: 716-722, 2013.
- 岡野亮介, 他: 骨密度に対する運動の効果. 計測と制御, 31 (3): 397-403, 1992.
- 長澤 弘: 日常生活活動と筋力. 理学療法科学, 18 (1): 7-13, 2003.
- 菱沢利行, 他: 第2手中手骨骨密度と体力検査項目との関連性の検討. 東日臨整外会誌, 7 (1): 50-52, 1995.
- 板橋 明: 骨粗鬆症のリスクファクター. 病態生理, 14 (6): 454-460, 1995.
- 水上 優, 他: 股関節の運動方向の違いによる腸腰筋筋活動の変化. 理学療法学会誌, 43: 2, 2015.
- 井上 聡: 骨粗鬆症と未病一ゲムからのアプローチ. 日老医誌, 43 (1): 78-80, 2006.