

骨密度測定装置の更新に伴う、診療放射線技師間および自動解析ソフトウェアの解析差の検証

In measurement error of Bone Mineral Density examination between the radiologists and the automatic analysis software with the update of the measuring apparatus

栗林 武志¹⁾, 和田 梨奈¹⁾, 澤木 千尋¹⁾, 柴田 怜¹⁾, 榮枝 裕文²⁾

1) 医療法人純正会 名古屋市立緑市民病院 診療技術部 放射線技術科 診療放射線技師
2) 医療法人純正会 名古屋市立緑市民病院 整形外科 医師

Key words: Dual energy X-ray Absorptiometry, Bone Mineral Density, Osteoporosis

【Abstract】

In 2018, we update of the bone mineral density measuring apparatus in a Nagoya City Midori Municipal Hospital. We enabled measurement the lumbar vertebrae and the proximal femur with the update. We examined it with the antebrachial bone specialized equipment which did not require the analysis work after the examination until now, but the analysis work after the examination was required with device update. Also, this examination require follow-up for a long term, and this was concerned about the reproducibility, we tried the with results of the automatic analysis by a device and manual analysis. But a significant difference has been found in analysis results. Therefore, we compared about an analysis difference between the radiologists with the experience and radiologists whom examined for the first time.

As a result analysis of lumbar vertebrae and proximal femur, the significant difference was not found between radiologists. In the examination of bone mineral density measurement, the reproducibility is important for follow-up for a long term.

It was suggested that between radiologist could perform highly reproducible examinations by having a common understanding of measurement and analysis methods.

【要旨】

当院で骨密度測定装置の更新を行った。更新に伴い腰椎と大腿骨近位部での検査が可能となったが、従来の前腕骨専用装置では不要であった解析作業が必要となった。本検査は長期にわたる経過観察を必要とするため、検査の再現性について懸念された。本検査の経験がある診療放射線技師の解析結果を基準として装置の自動解析結果との比較を行ったが、腰椎と大腿骨近位部の解析結果は共に有意差が認められた。また経験のある技師と初めて検査を行う技師複数名の解析結果の比較を行ったが、有意差は認めなかった。再現性が重要となる本検査において、マニュアルに従い手動で解析を行うことで再現性の高い検査を実施できることが示唆された。

序 文

現在、国内では高齢化とともに骨粗しょう症患者が急増し、転倒など骨折に伴う寝たきりによるQOLの低下が問題となっている¹⁾。名古屋市立緑市民病院（以下、当院）がある名古屋市では、40代以上の女性が国が定めた特定の年齢（40歳以上で、40歳から5年ごとに70歳まで対象）に達した名古屋市民に対して、検診費用が無料となる検診無料クーポン²⁾を発行するなどの取り組みを行っており、当院では二重エネルギーX線吸収測定法（Dual energy X-ray Absorptiometry：以下、DXA法）で対応している。

これまで当院では、前腕骨専用の骨密度測定装置で実施していたが³⁾、日本骨粗鬆症学会から推奨されている腰椎と大腿骨近位部での検査³⁾に対応するため、2018年4月にHorizon W（HOLOGIC社製）へ装置の更新を行い、骨粗しょう症検診受診者（以下、検診者）は腰椎の1部位を、整形外科受診者（以下、受診者）では腰椎と大腿骨近位部の2部位で実施している。また検査依頼は装置更新後の2018年度から大きく増加した（Fig.1）。しかし、従来の前腕骨専用の装置では検査後の画像解析が不要であったが、新規の装置では必要となった。画像解析時に骨範囲を正確に指定することは重要であり、結果に影響を及ぼす⁴⁾。装置には自動解析機能（以下、自動解析）が搭載されているが、長期にわたる経過観察を行う上で再現性が疑問視された。そこで本検査を実施する診療放射線技師（以下、技師）が手動で解析を行うこととしたものの、他施設から入職した技師1人を除き在職している8人が未経験のため、技師間の解析差も懸念された。今回、腰椎および大腿骨近位部のDXA法の再現性を得ることを目的に、自動解析と技師の間、および技師間に生

KURIBAYASHI Takeshi¹⁾, WADA Rina¹⁾,
SAWAKI Chihiro¹⁾, SHIBATA Ryo¹⁾,
SAKAEDA Hirofumi²⁾

1) Department of Radiology, Nagoya City Midori Municipal Hospital

2) Department of Orthopedics Surgery, Nagoya City Midori Municipal Hospital

Received September 28, 2020; accepted March 24, 2021

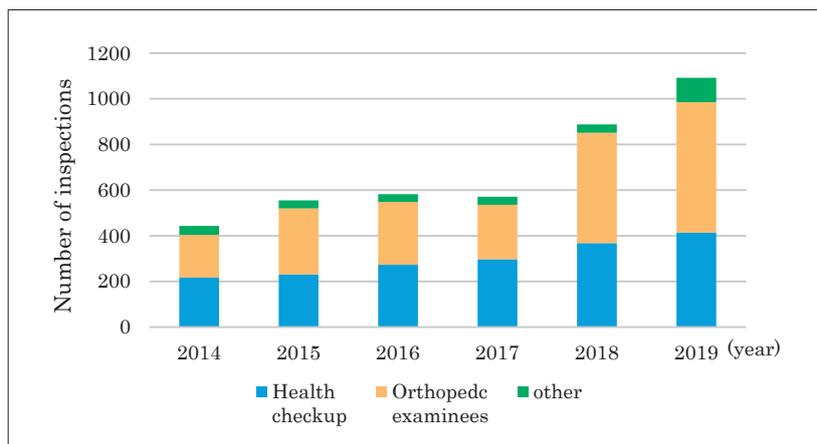


Fig.1 Changes in the number of DXA method by requested department

じる解析差について検証を行ったので報告する。

方法

1. 骨粗しょう症検診者の腰椎解析差

2018年4月から2019年3月までに実施した検診者の腰椎画像を用い、技師間の解析差について検査経験のある診療放射線技師（以下、技師A）を基準として初心者技師3人（以下、技師B・C・D）と、実際の検査時に担当した技師（技師Aから技師Dを除く所属技師5人がランダムに担当：以下、技師E）、さらに自動解析の解析結果を比較した（Table 1）。対象は骨粗しょう症検診者で、各年齢から無作為に20人ずつとした。なお、装置導入後の期間において、複数回検査を受けた者はおらず、今回の対象者全員が初回検査のため過去の解析画像などは参照できない状態であった。解析範囲は骨粗鬆症のガイドライン³⁾に準じ腰椎のL1からL4の横突起を除いた椎体部分とし、椎体間を含む範囲とした（Fig.2）。整位には男性で

Table 1 Experience as a radiologists and inspection experience

	Years of work	Inspection experience
Radiologist (A)	12	○
Radiologist (B)	3	×
Radiologist (C)	5	×
Radiologist (D)	7	×
Radiologist (E) (5 radiologists except A to D)	3~30	×

高さ37cm、女性では32cmの装置付属の足台を使用し、臀部が装置の寝台から離れない範囲で膝関節および股関節を90度屈曲の状態で行った（Fig.3）。得られた骨密度（ g/cm^2 ）から技師Aを基準として、技師B~Eおよび自動解析の解析値の差分を算出した。なお、技師Aの解析値に対しその他の測定結果は被検者一人一人で大きい場合も小さい場合もあるため、差分の絶対値で評価を行った。統計学的検定ではフリー統計解析ソフトEasy R (EZR)⁵⁾ Ver1.54を使用し、技師Aを基準とした各技師との差分の絶対値と、技師Aと自動解析との差分の絶対値をKolmogorov-Smirnov検定で正規性の確認を行った⁶⁾。また技師間の差分の絶対値を3群以上の連続変数とし、正規分布に従う場合はt検定を、従わない場合はFriedman検定を用い、技師間に対する自動解析間の比較は正規分布に従う場合にはt検定を、従わない場合にはWilcoxon検定を用い、共に $p < 0.05$ を統計学的に有意差ありとした。

2. 整形外科受診者における腰椎および大腿骨近位部の解析差

受診者を60歳未満、60~64歳、65~79歳、80~84歳、85~89歳および90歳以上の6つの群に分け、各群から30人ずつを無作為に抽出した。各群において腰椎と大腿骨近位部に対し、技師Aと技師Eおよび自動解析で測定を行い、技師Aと技師E、また技師Aと自動解析間の差分の絶対値を算出した。腰椎は方法1と同様に行い、大腿骨近位部は整位により小転子部分が大腿骨骨幹部と重なるなど、再現性を保つのが難しい^{7), 8)}ため、Fig.3-Bに示した下肢の固定が良く再現性に優れ、実際の検査時に使用している専用の靴

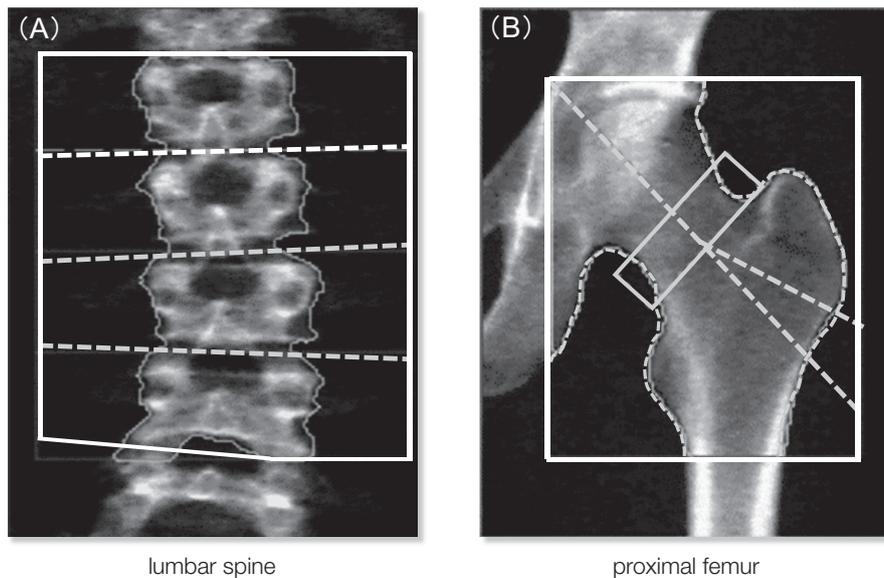


Fig.2 Analyzing range and location of the lumbar spine and proximal femur by DXA method

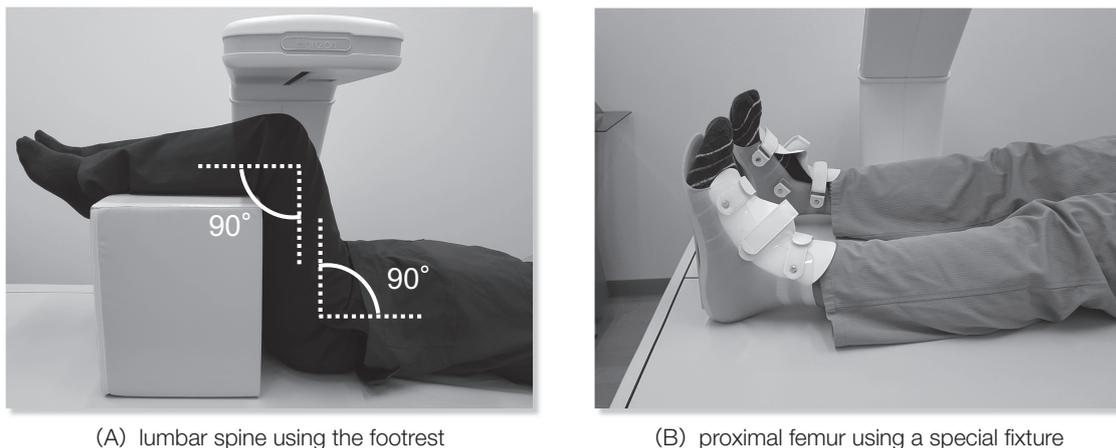


Fig.3 Positioning when measuring the lumbar spine using the footrest (A) and positioning when measuring the proximal femur using a special fixture (B)

型固定具を用いた⁹⁾。解析はガイドライン¹⁰⁾に準じ、Fig.2-Bに示した大腿骨頭から小転子下端の10mm下までを解析範囲とした。なお、両部位ともに複数回検査を実施している受診者について、主観に影響がないよう過去の解析画像が参照できない初回検査時の画像を用いた。評価には両部位とも技師Aと技師E、技師Aと自動解析間の差分の絶対値を用いて行った。統計学的検定ではEZRでおおのこの解析値に対しKolmogorov-Smirnov検定で正規性の確認を行い、技師間と自動解析間の比較は正規分布に従う場合はt検定を、従わない場合はWilcoxon検定で $p < 0.05$ を統計学的に有意差ありとした。

結 果

1. 骨粗しょう症検診者の腰椎解析差

検診者の腰椎における技師および自動解析の解析平均値および標準偏差を示した (Table 2)。技師Aを基準とした技師B~Eそれぞれの解析差の絶対値 (b~e) の平均は、40歳は0.003 (g/cm²)、45歳は0.002 (g/cm²)、50歳は0.003 (g/cm²)、55歳は0.002 (g/cm²)、60歳は0.002 (g/cm²)、65歳は0.003 (g/cm²)、70歳は0.002 (g/cm²)であった (Table 3)。Friedman検定では全ての群において $P > 0.05$ で、技師間に有意差は認めなかった。これに対し、技師Aを基準とした自動解析の解析差の絶対値 (auto) は

Table 2 Mean and standard deviation of the lumbar spine of the examiners performed by an automatic analysis and radiologists

		Year	40	45	50	55	60	65	70
A	Average (mg)		0.954	0.939	0.882	0.899	0.838	0.801	0.813
	Standard Deviation		0.099	0.112	0.141	0.141	0.135	0.105	0.127
B	Average (mg)		0.953	0.939	0.881	0.899	0.837	0.801	0.813
	Standard Deviation		0.097	0.111	0.14	0.14	0.134	0.105	0.128
C	Average (mg)		0.953	0.938	0.882	0.899	0.837	0.801	0.812
	Standard Deviation		0.098	0.112	0.141	0.141	0.134	0.105	0.128
D	Average (mg)		0.954	0.94	0.882	0.901	0.838	0.802	0.81
	Standard Deviation		0.097	0.113	0.141	0.142	0.135	0.105	0.13
E	Average (mg)		0.953	0.938	0.88	0.9	0.836	0.801	0.814
	Standard Deviation		0.098	0.112	0.14	0.141	0.135	0.105	0.129
Auto analysis	Average (mg)		0.948	0.931	0.873	0.892	0.832	0.785	0.81
	Standard Deviation		0.097	0.108	0.139	0.144	0.117	0.101	0.136

Table 3 Absolute value of the differences in lumbar spine analysis of examiners between radiologists and automatic analysis

		Year	40	45	50	55	60	65	70
Average (mg) of Measurement difference from A	b		0.00245	0.00145	0.00232	0.00218	0.00165	0.00242	0.00227
	c		0.00271	0.00167	0.00379	0.00235	0.00195	0.00263	0.00253
	d		0.00315	0.00249	0.003269	0.00265	0.0024	0.00405	0.0028
	e		0.00325	0.00215	0.00233	0.00259	0.00295	0.00389	0.00207
	auto		0.00755	0.0125	0.01442	0.015949	0.01725	0.01879	0.02173
P-value between groups B to E (Friedman)	b								
	c		0.525	0.0529	0.468	0.986	0.394	0.0997	0.271
	d								
	e								
P-value of significant difference from automatic analysis (Wilcoxon)	b		0.00012	0.00073	0.00325	0.000265	0.000262	0.000288	0.00306
	c		0.00014	0.00093	0.0229	0.000159	0.000747	0.000413	0.00856
	d		0.00021	0.00784	0.0483	0.000674	0.00346	0.00751	0.021
	e		0.00023	0.00276	0.00354	0.000452	0.0139	0.0175	0.00242

07

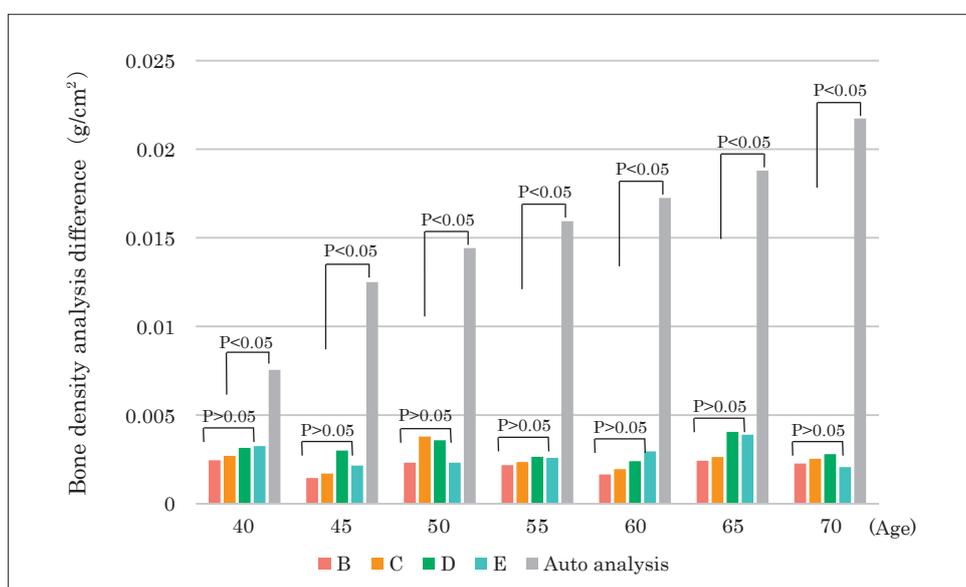


Fig.4 Analysis difference in the lumbar spine of the radiologists

40歳は0.008 (g/cm²), 45歳は0.013 (g/cm²), 50歳は0.014 (g/cm²), 55歳は0.016 (g/cm²), 60歳は0.017 (g/cm²), 65歳は0.019 (g/cm²), 70歳は0.022 (g/cm²)であった。Wilcoxon検定では、b~eとautoをそれぞれ比較した結果、全ての群においてP<0.05となり、技師間と自動解析間では全ての年齢で有意差を認めた (Fig.4)。

2. 整形外科受診者の腰椎および大腿骨近位部の解析差

腰椎の技師および自動解析の解析平均値および標準偏差を示した (Table 4)。技師Aと技師Eの解析差の絶対値 (e') の平均は、70歳未満では0.005 (g/cm²), 70~74歳の群で0.004 (g/cm²), 75~79歳の群と80~84歳の群では0.005 (g/cm²), 85~89

歳および90歳以上の群では0.007 (g/cm²)であった (Table 5)。これに対し、技師Aと自動解析間の解析差の絶対値 (auto') の平均は、70歳未満では0.034 (g/cm²), 70~74歳の群で0.036 (g/cm²), 75~79歳の群と80~84歳の群では0.038 (g/cm²), 85~89歳の群と90歳以上の群では0.041 (g/cm²)であった。Wilcoxon検定では、全ての群のe'とauto'間はP<0.05となり有意差を認めた (Fig.5-A)。同様に大腿骨近位部の技師Aと技師Eおよび自動解析の解析平均値および標準偏差を示した (Table 6)。技師間の解析差の絶対値 (e'') の平均は、70歳未満の群と85~89歳の群では0.009 (g/cm²)で、その他の群では0.010 (g/cm²)であった (Table 7)。これに対し、技師Aと自動解析間 (auto'') では、70歳未満の群から80~84歳の群まで0.016 (g/cm²), 85

Table 4 Mean and standard deviation of the lumbar spine of orthopedic examiners performed by an automatic analysis and radiologists

		Year	~69	70~74	75~79	80~84	85~89	90~
A	Average (mg)		0.7847	0.7628	0.7778	0.7906	0.7379	0.7151
	Standard Deviation		0.1315	0.1961	0.1193	0.1429	0.1472	0.1516
E	Average (mg)		0.7841	0.7631	0.7811	0.7913	0.7394	0.7045
	Standard Deviation		0.1304	0.1974	0.1166	0.1454	0.1467	0.1449
Auto analysis	Average (mg)		0.7769	0.7411	0.7713	0.7775	0.7235	0.7045
	Standard Deviation		0.1439	0.1763	0.1024	0.1374	0.1393	0.1245

Table 5 Absolute value of the analysis difference between radiologist and automatic analysis in the lumbar spine of orthopedic examiners

		Year	~69	70~74	75~79	80~84	85~89	90~
Average (mg) of Measurement difference from A	e'		0.00507	0.00382	0.00453	0.00501	0.006833	0.007233
	auto'		0.03363	0.03649	0.03751	0.03777	0.040833	0.041167
P-value of significant difference from automatic analysis (Wilcoxon)	e'		0.00001	0.00001	0.00013	0.00001	0.00001	0.00001
	auto'							

Table 6 Mean and standard deviation of the proximal femur of the orthopedic examiners performed by an automatic analysis and radiologists

		Year	~69	70~74	75~79	80~84	85~89	90~
A	Average (mg)		0.5508	0.5544	0.4988	0.5298	0.4595	0.3982
	Standard Deviation		0.0849	0.1072	0.1077	0.0961	0.1064	0.0925
E	Average (mg)		0.5466	0.5528	0.4976	0.5289	0.4559	0.3968
	Standard Deviation		0.0922	0.1066	0.1028	0.0965	0.1041	0.0926
Auto analysis	Average (mg)		0.5586	0.5582	0.5052	0.5351	0.4696	0.4061
	Standard Deviation		0.0931	0.1029	0.1004	0.0959	0.1057	0.0941

Table 7 Absolute value of the analysis difference between radiologist and automatic analysis in the proximal femur of orthopedic examiners

		Year	~69	70~74	75~79	80~84	85~89	90~
Average (mg) of Measurement difference from A	e"		0.00921	0.01011	0.009933	0.010233	0.009267	0.009733
	auto"		0.01593	0.016067	0.016067	0.016133	0.016633	0.0167
P-value of significant difference from automatic analysis (Wilcoxon)	e"		0.01941	0.01691	0.0442	0.0425	0.0224	0.0104
	auto"							

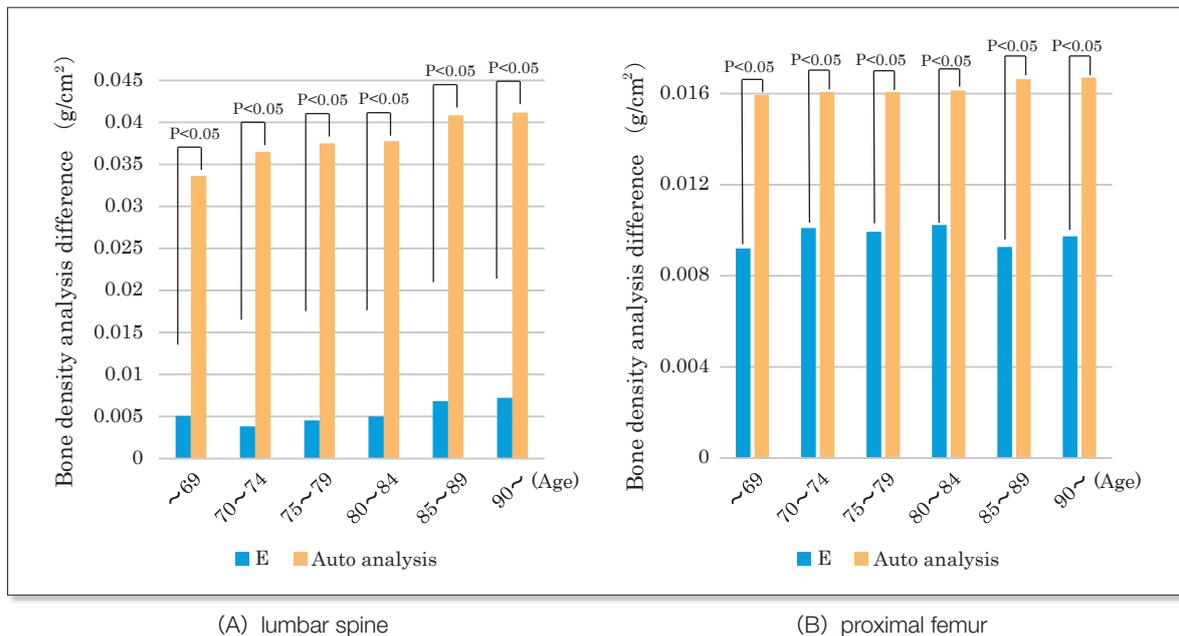


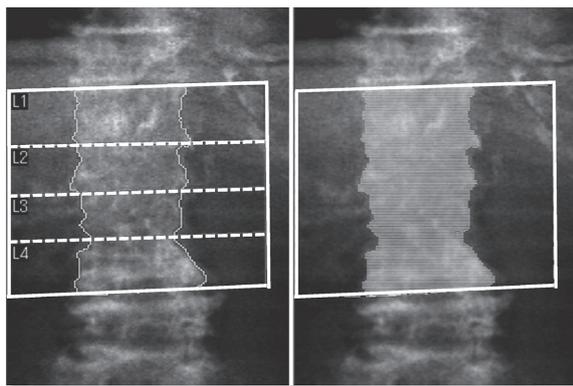
Fig.5 Analysis difference of lumbar spine (A) and proximal femur (B) of orthopedic radiologist

~89歳と90歳以上の群では0.017 (g/cm²)であった。Wilcoxon検定では、全ての群のe"とauto"間はP<0.05となり有意差を認めた (Fig.5-B)。

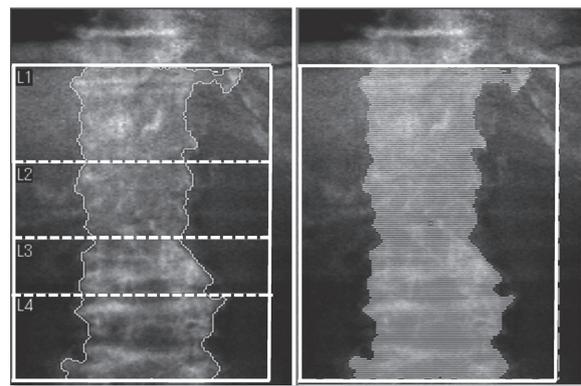
考察

再現性が重要視される本検査において、Fig.4の検診者の腰椎では全ての年齢で技師間に有意差は認められなかった。要因として、対象者が40歳からと比較的若年から検査の対象となっており、骨塩量の減少が少なく画像上での解析範囲の同定が容易であったことが考えられる。これに対し、Table 2の各技師と自動解析の解析値の平均で差は見られなかったが、Table 3の技師Aを基準とした解析差の絶対値では年代が上がるにつれて差は増加を示し、有意差を認めた。これは、DXA法において骨塩量の減少により画像取得時

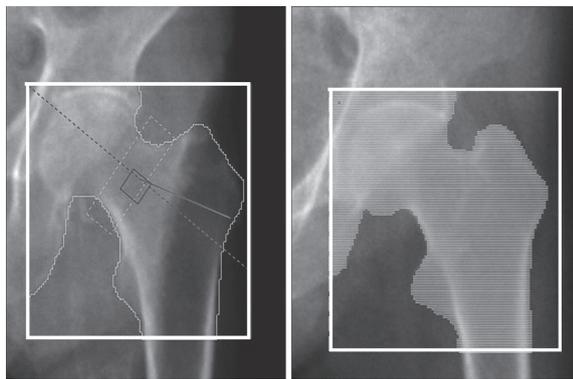
のX線透過量の増加を招くため、椎体骨と周囲軟部組織とのコントラスト差が小さくなり、自動での解析範囲の同定が困難になったためと推測される¹¹⁾。受診者の腰椎では、Fig.4の技師間と自動解析間では有意差を認めた一方、技師間では年代によらず有意差は認めなかった。しかし、Table 5から技師間の70歳未満の群で70~79歳の群よりも差が見られた。これは、検査対象者の大半が若年性の脆弱性骨折の既往など骨塩量の低下が疑われての検査であったため、年齢に対して80歳以降と同程度の差が生じたと考えられる。一方で、技師Aと自動解析間では年代が上がるにつれて増加したが、各年代とも解析差そのものが大きく、技師間の差と同様な傾向は見られなかった。これは、受診者の群では骨折などによる椎体形状の変化や、骨塩量の減少による画像コントラストの低下から、自動解析では特に解析範囲の同定に影響を及ぼし、除外



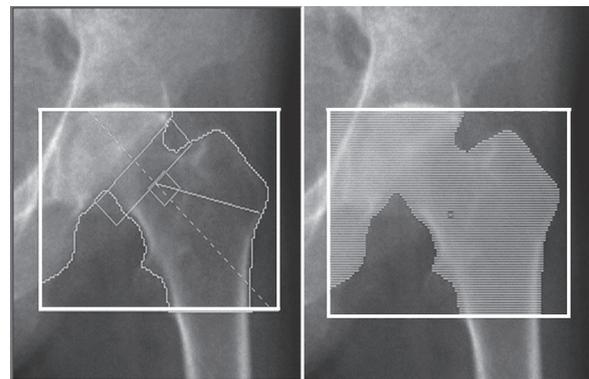
(A) lumbar spine manual analysis



(B) lumbar spine automatic analysis



(C) proximal femur manual analysis



(D) proximal femur automatic analysis

Fig.6 Manual analysis image and automatic analysis image of the lumbar spine and proximal femur

しなければならぬ横突起を誤って含むケースや、椎体番号を誤って認識するケースによるものと推測できる (Fig.6)。大腿骨近位部も同様に、技師間の解析差の絶対値に対し自動解析間では差が大きかったが、腰椎同様の画像コントラストの低下により生じたと考えられる。しかし、腰椎の結果と比較し、全ての群で解析差そのものは小さかった。大腿骨近位部はその形状から「椎体番号の誤認」のように解析範囲の大きな誤認が生じることがなく、また大腿骨頸部骨折や転子部骨折の既往がある場合は対側で検査を行っていることなどから、自動解析においても解析範囲を認識しやすいことが挙げられる。

DXA法に用いる骨塩定量装置のX線出力は被検者の体格によらず一定のため、大柄な体型や骨密度が減少した被検者に対して画像上の骨部分と周辺組織とのコントラストの低下を招きやすい。そのため骨と軟部組織の境界が不明瞭になりやすく、自動解析による解析範囲の同定が難しくなる。しかし、普段から腰椎や股関節の一般撮影画像を目にし、読影に慣れた技師にとって、これらの影響を受けることなく解析が可能で

あった。一般的にDXA法による骨密度測定は被ばく線量が少ない^{12), 13)}。しかし、以上の事柄から測定結果に及ぼす影響も大きく、自動解析や手動解析のさらなる精度の向上には測定時の線量の増加に伴う画質の向上が求められる。

結語

長期にわたる経過観察を要する骨密度測定検査において、再現性を得ることを目的に診療放射線技師と自動解析の解析差について評価を行った。被検者の加齢に伴う骨塩量の低下などの条件下において、診療放射線技師による手動での解析は技師間において解析差の少ない結果を示し、長期にわたり再現性の良い検査を提供できることが示唆された。

本論文は当院倫理委員会の承認を得て、2019年11月30日、12月1日に開催された第12回中部放射線医療技術学術大会における発表内容を基に投稿した。

表の説明

Table 1	技師AからEの技師歴、および検査経験
Table 2	検診者の腰椎における技師および自動解析の解析値の平均と標準偏差
Table 3	検診者の腰椎における技師間および自動解析との測定結果の絶対値の差と検定結果
Table 4	整形外科受診者の腰椎における技師および自動解析の解析値の平均と標準偏差
Table 5	整形外科受診者の腰椎における技師間および自動解析との解析値の絶対値の差と検定結果
Table 6	整形外科受診者の大腿骨近位部における技師および自動解析の解析値の平均と標準偏差
Table 7	整形外科受診者の大腿骨近位部における技師間および自動解析との解析値の絶対値の差と検定結果

図の説明

Fig.1	依頼科別のDXA法による検査件数の推移
Fig.2	DXA法による腰椎、大腿骨近位部の解析範囲と解析箇所
Fig.3	足台を使用した腰椎測定時の整位と、専用の固定具を使用した大腿骨測定時の整位
Fig.4	検診者の腰椎における解析差
Fig.5	整形外科受診者の腰椎 (A)、および大腿骨近位部 (B) の解析差 (A) 腰椎の解析差 (B) 大腿骨近位部の解析差
Fig.6	腰椎および大腿骨近位部に対するマニュアル解析画像と自動解析画像 (A) 腰椎のマニュアル解析画像 (B) 腰椎の自動解析画像 (C) 大腿骨近位部のマニュアル解析画像 (D) 大腿骨近位部の自動解析画像

参考文献

- 厚生労働省：平成29年 患者調査（傷病分類編）。
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kan-ja/10syoubu/yo/>（アクセス 2020年4月22日）
- 名古屋市：骨粗しょう症検診。
<http://www.city.nagoya.jp/kurashi/category/8-4-7-12-0-0-0-0-0-0-0.html>（アクセス 2020年4月22日）
- 折茂 肇，他：骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2015年版。日本骨粗鬆症学会，日本骨代謝学会，骨粗鬆症財団，26-27，2015。
- 川勝 充：DEXA法による骨塩量測定の問題点。日放技学誌，53，489-493，1997。
- Y Kanda: Investigation of the freely available easy-to-use software "EZR" for medical statistics. Bone Marrow Transplantation, 48, 452-458, 2013.
- 神田善伸：フリー統計ソフトEZR (Easy R) で誰でも簡単統計解析。84-131, 南江堂。
- 井上貴雄：大腿骨近位部骨密度のDEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) 法による検討。岡山医誌，105，331-339，1993。
- 田頭 豊，他：大腿骨近位部DXAにおける下肢の回旋の影響とポジショニング教育の一例。日本放射線技術学会東北部会雑誌，第21号，100-101，2012。
- 福永仁夫：大腿骨近位部の骨密度測定の普及を願って。骨粗鬆症至適療法研究会ニュース，Vol.4，No.2，2013。
- 福永仁夫，他：大腿骨近位部BMD測定マニュアル。Osteoporosis Japan, vol.15, No.3, 2007.
- 滝川 厚：X線質と被写体コントラストとの関係。日放技学誌，66，662-667，2010。
- 飯田忠行，他：骨密度測定における被曝線量測定。RADIOISOTOPES, 48, 557-583, 1999.
- 飯田忠行，他：腰椎骨密度測定法での患者被曝線量一重エネルギーX線吸収法 (QDR-4500) と腰椎一般撮影の比較一。広島県立保健福祉短期大学紀要，5，43-48，2000。