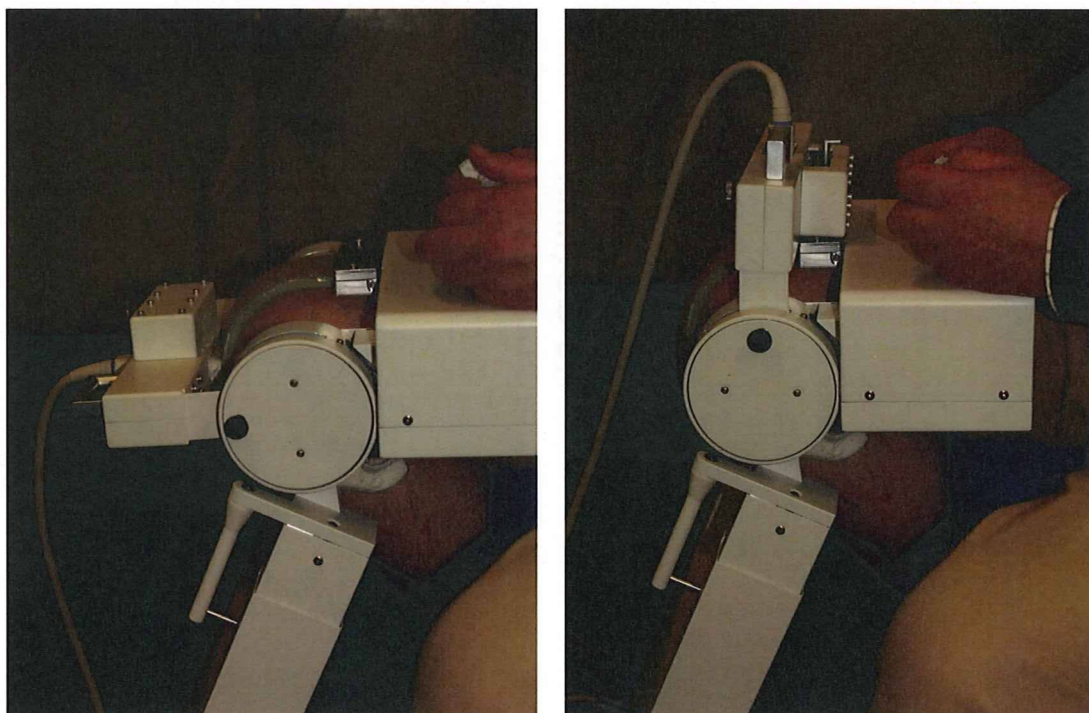
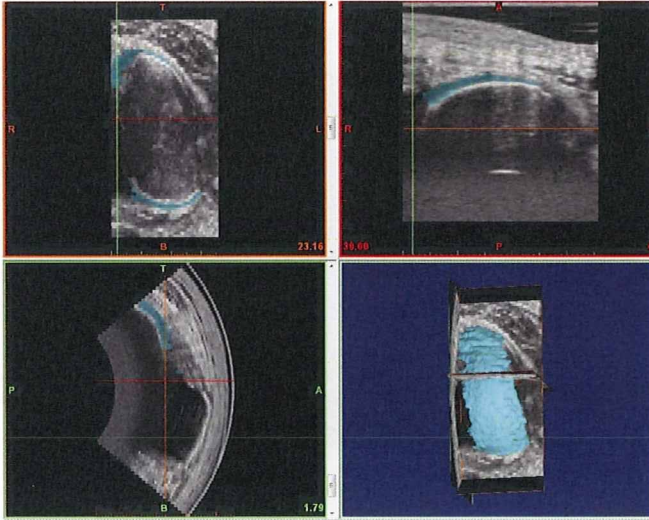


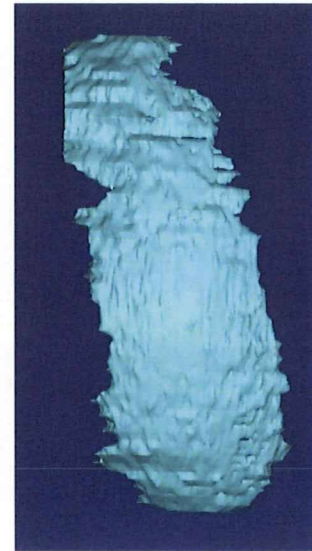
図③-1 下肢保持具・プローブスキャナー（左：改良機，右：試作機）



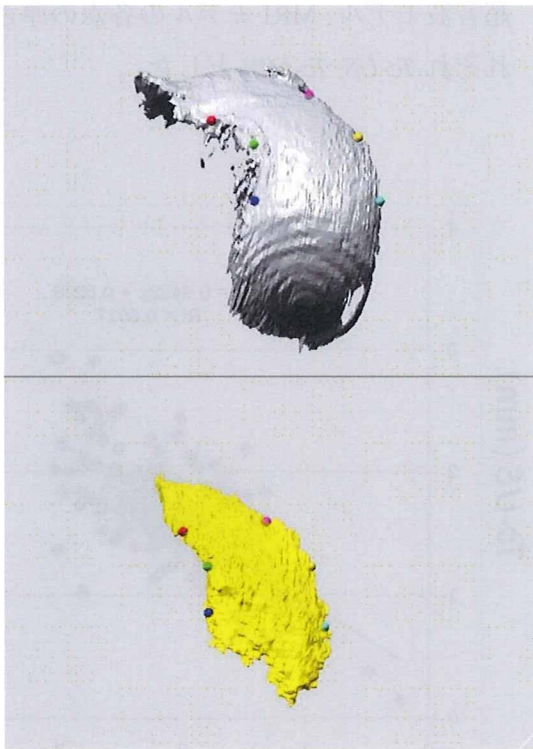
図③-2 大腿骨内側顆部撮像風景（左：撮像中位置、右：撮像終了位置）



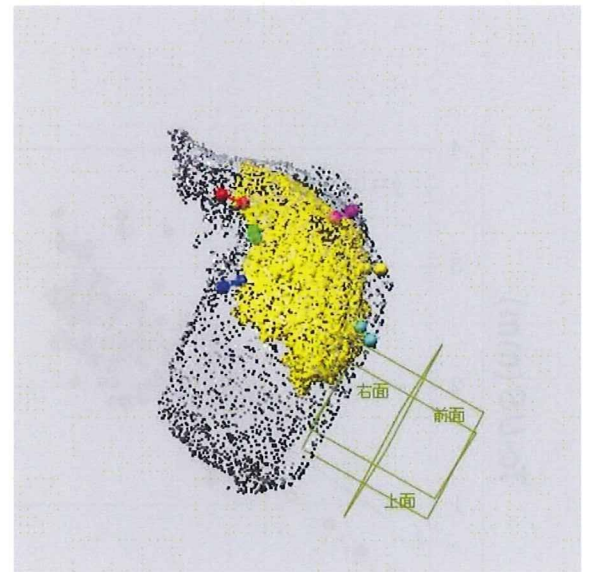
図③-3 DICOM 画像処理ソフトを用いた軟骨領域抽出



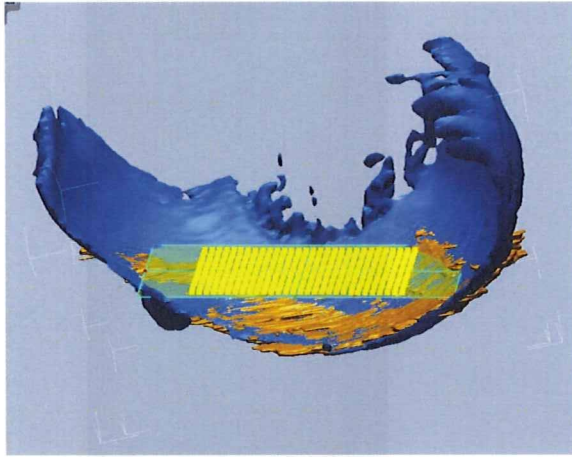
図③-4 超音波画像より作成した3次元表面形状モデル



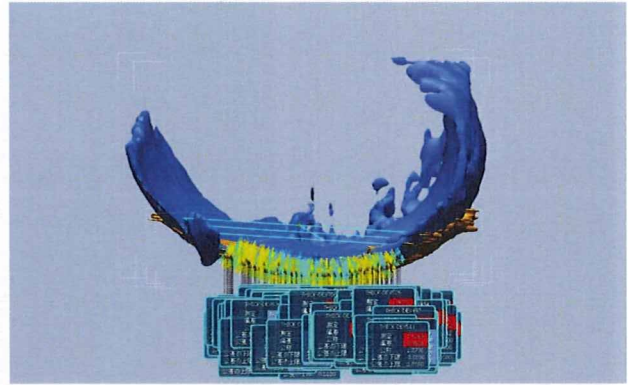
図③-5 MRI 画像より作成した3次元表面形状モデル（上）および超音波モデル（下）



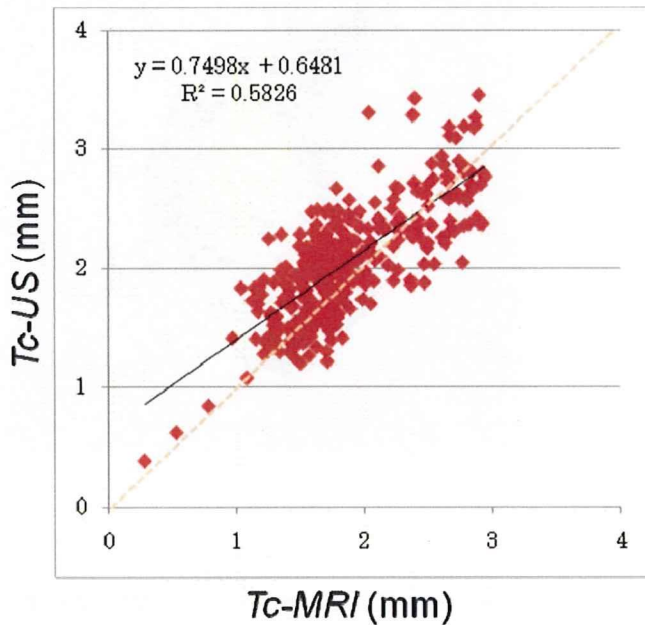
図③-6 超音波関節軟骨モデルとMRI 関節軟骨モデルとの位置合わせ



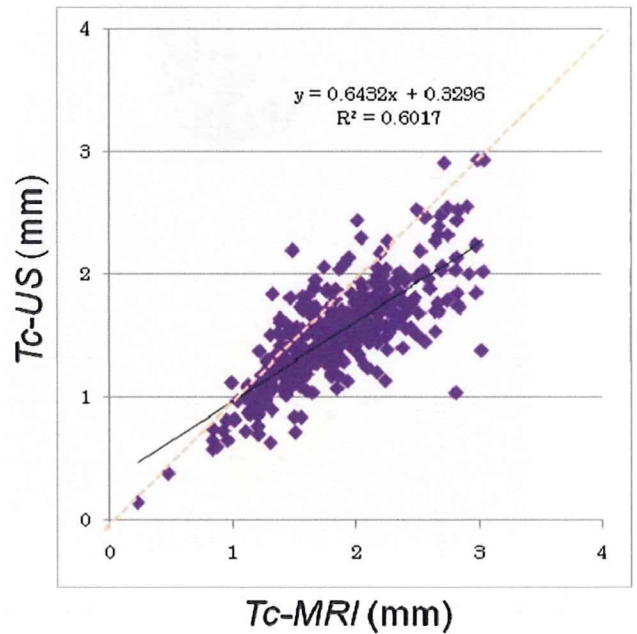
図③-7 軟骨厚測定点を決定するための基準面を作成し、基準面上に関節軟骨厚測定基準点を1mm 間隔で作成



図③-8 各基準点における基準面に対する法線と各三次元モデルとの交点における各三次元モデルの厚さを計測
超音波モデル、MRI モデルの各点の厚さをそれぞれ $Tc-US$, $Tc-MRI$ とした



図③-9 超音波モデル軟骨厚 ($Tc-US$) と MRI 軟骨モデル厚 ($Tc-MRI$) との関係 (36 歳男性) 有意な相関($p < 0.0001$)がみられた



図③-10 超音波モデル軟骨厚 ($Tc-US$) と MRI 軟骨モデル厚 ($Tc-MRI$) との関係 (59 歳男性) 有意な相関($p < 0.0001$)がみられた

Ⅱ 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表
【H19. 4. 1～H22. 3. 31】

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
大西五三男、松山順太郎	【骨折とその治癒機転】超音波エコートラックキング法を用いた骨癒合判定法	森 諭史	Clinical Calcium	医薬ジャーナル社	東京	2009	682-690 (19巻5号)

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
宮坂好一、廣田浩二、酒井亮一、皆川栄一、大橋暁、大西五三男、中村耕三	超音波による関節軟骨音速の高精度計測法	超音波医学	36巻、supplement	S455	2009
飛田健治、大西五三男、松本卓也、大橋暁、別所雅彦、金子雅子、中村耕三	創外固定を用いたウサギ脛骨骨切モデルにおける低出力超音波パルスの効果 -マイクロCTを用いた3次元のBone Strength Indices評価-	日本創外固定・骨延長学会雑誌	21巻	78	2010
飛田健治、大西五三男、松本卓也、大橋暁、別所雅彦、松山順太郎、金子雅子、中村耕三	低出力超音波パルス治療の骨癒合リモデリング期に対する効果 マイクロCTを用いた仮骨の髓腔化・皮質骨化の定量評価	日本整形外科学会雑誌	83巻8号	S1239	2009
Tobita, Kenji; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; Ohashi, Satoru; Bessho, Masahiko; KANEKO, MASAKO	- Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on gap healing in a rabbit osteotomy model evaluated by micro computed tomography-based 3-dimensional cross-sectional moment and cross-sectional moment of inertia	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	0695	2010

Ohashi, Satoru; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; Bessho, Masahiko; Matsuyama, Juntaro; Tobita, Kenji; KANEKO, MASAKO; Nakamura, Kozo	Evaluation of the Accuracy of Articular Cartilage Thickness Measurement by Conventional and Real-time Spatial Compound Ultrasonography	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	1364	2010
Satoru Ohashi, Isao Ohnishi, Takuya Matsumoto, Masahiko Bessho, Juntaro Matsuyama, Kenji Tobita, Masako Kaneko, Kozo Nakamura	Evaluation of Measurement Precision for Articular Cartilage Ultrasound Speed by Time of Flight Method	Transactions of 10th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology	10	P2006	2009
Matsuyama J, Ohnishi I, Sakai R, Bessho M, Matsumoto T, Miyasaka K, Harada A, Ohashi S, Nakamura K.	A new method for evaluation of fracture healing by echo tracking.	Ultrasound Med Biol	34	775-83	2008
松山 順太郎、大西 五三男、酒井亮一、別所 雅彦、大橋 暁、宮坂 好一、飛田 健治、松本 卓也、原田 烈光、芳賀 信彦、中村 耕三、	超音波エコー-tracking法を用いた骨癒合判定	日本整形外科学会雑誌	88巻8号	S907	2008
大橋 暁、大西 五三男、松本 卓也、別所 雅彦、飛田 健治、中村 耕三	超音波を用いたヒト関節軟骨音速測定値に軟骨変性度が与える影響についての検討	日本整形外科学会雑誌	82巻8号	S994	2008
宮坂 好一、酒井亮一、鈴木 浩之、大塚 利樹、原田 烈光、吉川 義博、松山 順太郎、大西 五三男、中村 耕三	超音波による骨癒合強度定量評価の新しい計測システムの開発	日本超音波医学会誌	Vol. 35 Supplement	S550	2008
R. Sakai, K. Miyasaka, E. Minagawa, T. Ohtsuka, A. Harada, Y. Yoshikawa, J. Matsuyama, K. Tobita, K. Nakamura, I. Ohnishi	A Minute Bone Bending Angle Measurement Method using Echo-Tracking for Assessment of Bone Strength In Vivo	2008 IEEE International Ultrasonics Symposium	Transactions	2C-5	2008

大西 五三男、松山 順太郎、飛田 健治、別所 雅彦、大橋 暁、松本 卓也、金子 雅子、中村 耕三	超音波エコー-tracking法を用いた骨癒合の評価	第22回日本創外固定・骨延長学会	抄録集	p. 60	2009
Y. Cheng, S. Wang, T. Yamazaki, J. Zhao, Y. Nakajima, S. Tamura	Hip cartilage thickness measurement accuracy improvement	Computerized Medical Imaging and Graphics	Vol.31,no.8	643-655	2007
Matsuyama, J.; Ohnishi, I.; Sakai, R.; Miyasaka, K.; Harada, A.; Bessho, M.; Ohashi, S.; Matsumoto, T.; Nakamura, K.	A new method for evaluation of fracture healing by Echo tracking	8th EFORT congress	Transactions	F779	2007
大橋 暁、大西 五三男、酒井 亮一、廣田 浩二、宮坂 好一、中村 耕三	超音波を用いたTime of Flight法による関節軟骨の音速測定	日本整形外科学会誌	81(8)	S1012	2007

Ⅲ 研究成果の刊行物・印刷

CLINICAL CALCIUM

5

2009

Vol.19 No.5

特集

骨折とその治癒機転

[特集ゲスト編集]

森 諭史

聖隷浜松病院 骨・関節外科部長



[学術アドバイザー]

大内尉義

東京大学大学院医学系研究科
加齢医学講座教授

三木隆己

大阪市立大学大学院
医学研究科老年内科学教授

松本俊夫

徳島大学大学院
ヘルスバイオサイエンス研究部
生体情報内科学教授

Ⓢ 医薬ジャーナル社

超音波エコートラッキング法を用いた骨癒合判定法

大西 五三男* 松山 順太郎**

骨癒合強度を定量的に診断することは骨折治療に重要であるが、現状ではX線写真による定性的な方法に依存している。超音波のエコー信号の位相変化を測定するエコートラッキング法(以下、ET法)を用い、骨癒合強度の定量測定法を開発した。本法を用い、脛骨骨折患者に対し骨癒合の強度判定を行った。下腿の近位・遠位を支持し、骨折部近傍において25Nの曲げ荷重を加え、骨折部の近位・遠位骨片の傾斜角(ET変形角)を測定した。正常な骨癒合過程が進行した症例では、ET計測による変形角の経時変化は指数関数的な減少を示し、骨癒合過程が定量的に評価可能であった。骨癒合が遷延した症例では変形角の減少はわずかで、停止した症例では、ET変形角の減少はなく、骨癒合不全であることが診断可能であった。ET法により非侵襲に骨癒合の進行と遷延が定量的に診断可能であった。本法は非侵襲で治療法を問わず適用できる利点がある。

Bone fracture and the healing mechanisms.

A New Method for Evaluation of Fracture Healing by Echo Tracking.

The Department of Orthopaedic Surgery, The University of Tokyo.

Isao Ohnishi

The Department of Rehabilitation, The University of Tokyo Hospital.

Juntaro Matsuyama

Assessment of bone healing on radiographs is not necessarily objective. A clinical system was developed to quantify the stiffness of healing fractures of the tibia in patients by the echo tracking (ET) method in a manner similar to a three-point bending test. The lower leg was supported. An ultrasound probe was placed on the proximal and distal fragments and a load of 25 N was applied. With a multiple ET system, two probes measured the displacement of five tracking points on each of the proximal and distal fragments of the tibia, thereby detecting the bending of the two fragments generated by the load. ET angle was defined as the sum of the inclinations of the proximal and distal fragments. Patients with tibial fracture treated by a cast or internal fixation were measured over time. In patients with radiographically normal healing, the bending angle de-

* 東京大学大学院医学系研究科感覚・運動機能医学整形外科・講師 (おおにし・いさお)

** 東京大学医学部附属病院リハビリテーション部 (まつやま・じゅんたろう)

creased exponentially over time. However, in patients with nonunion, the angle remained the same over time. It was demonstrated that the ET method could be clinically applicable to evaluate fracture healing as a versatile, quantitative and noninvasive technique.

はじめに

臨床において、骨癒合は主にレントゲンの画像情報を基に診断されている。しかし、レントゲン画像による情報は、仮骨の形態変化をみているに過ぎず、骨折部の強度を評価していないため、骨癒合の評価は結局のところ主観的判断によるところが大きい。事実 Bhandari らは、444 名の整形外科医を対象に、脛骨骨幹部骨折の骨癒合をどのように評価しているかを調査した¹⁾。骨癒合の評価には X 線写真上で、仮骨のサイズ、皮質の連続性、骨折線の経時的な消退、患者の歩行能力や荷重支持の程度などが用いられていることが明らかになった。しかし、骨癒合の評価には医師間でかなりの相違があり、さらには、遷延治癒や骨癒合不全、また変形治癒の認識においては大きな相違があることが事実となった。つまり、現状において行われている骨癒合の診断法は決して十分であるとは言えない。

我々はこれらの問題点を克服し、非侵襲かつ定量的な骨癒合判定の可能な骨折の力学的評価法を新たに開発した。骨は荷重が負荷すると変形するが、その際、粘弾性体である骨は、荷重に対する変形(歪)の可逆性・非可逆性・時間依存性によって弾性・塑性・粘性といったさまざまな力学特性を示す。この変形(歪)を定量的に検出することにより、骨の力学的特性が評価できる。我々は、この骨の変形を非侵襲・非接触に検出するため超音波を用いた。超音波は骨表面で反射し、Bモード画像では骨表面を鮮明な高信号で描出することが可能である。しかし、Bモード画像による骨変形

の定量的評価は精度が不十分である。そこで骨(骨表面)の荷重にともなう変形を正確に計測するため、エコートラッキング法(以下、ET法)を用いた。ET法は、組織からの RF (radio frequency) エコー信号の位相を検出して、超音波の波長以下の精度で組織の微小変位を計測する技術である。我々は、生体において、骨の荷重負荷後の変形を正確かつ定量的に計測し、骨癒合判定を可能にする診断装置を開発し、臨床応用した。

ET法について

超音波測定において、Bモード画像における測定対象物の距離の測定精度は超音波の波長に依存する。例えば 7.5 MHz のプローブを用いて測定した場合は、波長の距離分解能の限界である約 210 μm が精度となる。これに対し、ET法は、組織からの RF エコー信号の位相を検出して、超音波の波長以下の精度で組織の微小変位を計測する技術である。例えば、ある時刻 $t = t_0$ にある深さの組織が、超音波パルスの繰り返し周期 T の間に ΔZ だけプローブから遠ざかるように変位すると、RF 信号の位相は組織の変位 ΔZ に応じて微小時間 Δt だけずれる。ET法は RF 信号の初期設定した位相をトラッキングすることにより組織の微小変位計測を可能にしている(図 1)。この技術は 1970 年代に Hokanson らにより提案されて血管壁の変位計測に実用化された²⁾。この ET 法を骨の微小変位を計測するために RF エコー信号を骨に特化する形で処理し、より高精度な測定が可能となる ET 計測システムを開発した。超音波診断装置に

ET: エコートラッキング, RF: radio frequency

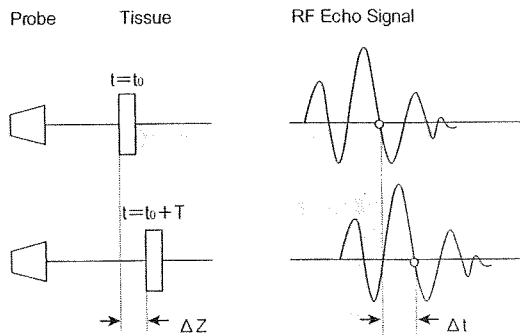


図1 エコトラッキング法の原理

時刻 $t = t_0$ にある深さの組織が、超音波パルスの繰り返し周期 T の間に ΔZ だけプローブから遠ざかるように変位すると、RF 信号の位相は組織の変位 ΔZ に応じて微小時間 Δt だけ変位する。ET 法は RF 信号の初期設定した位相をトラッキングすることにより、組織の微小変位を計測する。

(文献3より引用改変)

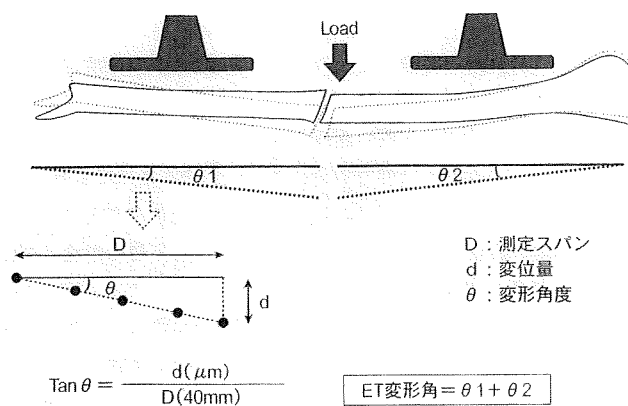


図2 臨床測定における評価法

骨折近傍に加えられた微小荷重により変形した骨表面の角度変化を、骨折近位遠位の2カ所で ET 多点計測する。各々5点の測定点を直線回歸し、その直線の変位量と測定スパンから変形角度を算出し、ET 変形角を求める。この評価法により、超音波ビーム方向と測定面内での回転による併進がキャンセルされる。

(文献6より引用改変)

接続された 7.5 MHz リニアプローブから骨に超音波を照射する。骨表面からの受信 RF エコー信号は、診断装置内の専用インターフェイスを介してコンピュータに出力される。アナログ RF エコー信号をデジタル信号に変換し記録する。RF 信号から位相変化を検出する。この方法で骨表面の特定点の変位を $2.6 \mu\text{m}$ の精度で計測する³⁾。

骨折の癒合について特に定量的評価が必要な部

位は、下肢の長管骨である。後療法における部分荷重歩行時の荷重量の設定には、骨癒合の定量的な判断ができれば非常に有用である。そこで、まず脛骨の骨幹部骨折を評価できるシステムを開発した。脛骨の3点曲げを行い、曲げ変形角度を ET によって計測する方法を開発した(図2)。すなわち、脛骨の近位骨片と遠位骨片に5点ずつトラッキングポイントを設け、各点の荷重後に生ず

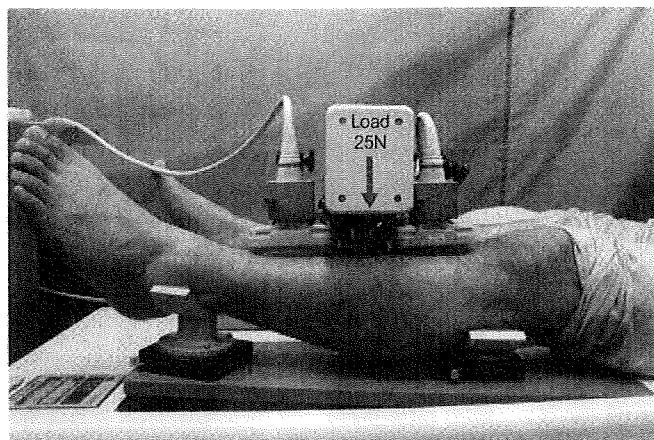


図3 自動荷重装置による臨床測定

荷重方向は脛骨前内側面に垂直に行う。前内側面に垂直に設置されているプローブに平行になるよう荷重する。荷重開始直前より抜重後まで ET 計測を行う。健常者の脛骨においても変形角の検出が可能である。

(筆者ら提供)

る変位を計測することで、曲げ角度を測定した。詳細は省くが、ETによる変位角の計測精度は0.004度であった⁴⁾。

本法を用いて脛骨幹部骨折の症例の骨癒合を定量的に評価した。3点曲げ荷重を行うことにより荷重による変形と併進方向をビーム方向に一致させ、測定誤差を減少させることができる。また、プローブを下肢に固着させる測定では荷重に対しプローブ自体が併進することが考えられるため、プローブを外周より保持する計測法を用いた。評価法は、荷重点の近遠位部で曲げにより生じる骨の変位角を測定する方法を用いた。

金属平板上のマグネット式の3関節アームに装着されたプローブを脛骨表面に垂直に設置する。これは、得られた骨表面のAモード波形のAmplitudeが最大になる点とする。フォースゲージを用い脛骨に荷重を加える。この際、荷重方向は脛骨前内側面に垂直に行うが、これは前内側面に垂直に設置されているプローブに平行になるよう

荷重する。荷重開始直前より抜重後までのET計測を行う。健常者の脛骨においても変形角の検出が可能である(図3)。

脛骨幹部骨折症例において、ET変形角を用いて経時的に評価した。測定時には、B画像により骨折部位を特定し、近位もしくは遠位の骨折断端より30mm程度の健常皮質骨部を荷重点とし、骨折近位と遠位の皮質骨部にそれぞれプローブを設置した。また、金属プレートによる内固定治療を行っている症例では、荷重点・近遠位の測定点いずれも金属プレート上に設置し、荷重によるプレートの変形角を検出した。

測定は2~4週程度の間隔で実施される整形外科の受診時に行い、経時的なET変形角度の測定を行い評価した。各回の測定は各5回行い、5回の平均と標準偏差を算出した。また、受診時には同時にレントゲン撮影も行い、レントゲンとの比較検討を行った。

測定結果

症例 1

左脛骨近位部の骨折に対し、ギプスによる保存治療を行った症例である。受傷後4週から47週間に11回の計測を行った。4週目より11週目まで急激なET変形角の減少を示し、その後も減少傾向が続き、21週以降の測定では健常側より少ないET変形角を示した(図4-1, 2)。

症例 2

右脛骨骨幹部の骨折に対し、髓内釘により固定を行った手術症例で、術後5年2カ月から5年8カ月の間に3回の計測を行った。6カ月の経過にて明らかな減少傾向はみられず、健常側に対しても常に5倍以上の変形角を示していた(図5-1, 2)。

症例 3

右脛遠位部の骨折に対し、ステンレス製プレートにより固定を行った手術症例で、術後9週から17週間に4回の計測を行った。8週の経過ではET変形角の減少傾向はわずかにみられる程度であったが、骨癒合の進行は確認できた(図6-1, 2)。

考察

いずれの骨折治療法においても骨癒合程度の判断は、治療上非常に重要な要件である。しかし現在、この判断の多くは前述のとおりレントゲンにより行われており、評価者によって判断が異なる。また、診察ごとに行われるレントゲン撮影による放射線被曝も問題である。非侵襲に、かつ正確な定量評価が不可能であった骨癒合程度の判断が、可能となればその臨床的意義は大きい。曲げ変形角の検出精度は、0.004度と骨癒合の経過を検出するに十分であった。

症例1はギプス治療が行われた症例であるが、

受傷後4週と早時期からの測定で、ET変形角も約1度と大きな値が検出された。受傷後4週では、血腫や繊維性組織による弱い結合がほとんどであり、レントゲンにても仮骨はほとんど確認できない。その後、レントゲンでは19週まで仮骨の領域が増した。その後、仮骨領域の骨硬化は進行し、周囲の皮質に近づいた。ET変形角は19週以降も減少を続けるが、21週以降では健常側より少なくなる。レントゲンにおいて26週以降では、仮骨部の変化はほぼ判別困難となるが、ET変形角はその後減少した。ET変形角は指数関数的に有意に減少した。これらの結果より、ET計測による骨癒合部の剛性が定量的に評価可能であった。

症例2は髓内釘による手術症例である。手術後5年を経過した症例で、独歩は可能であるが、長時間の歩行や走行にて骨折部に痛みがあったためET測定を行った。レントゲンではHypertrophic Nonunionの様態を示していたが、レントゲンの経時変化からは骨癒合の進行が全くないとの判断は難しかった。ET測定の結果、ET変形角は指数関数的に優位な減少はなかった。ET計測により、定量的に骨癒合不全であることが評価できた。

症例3は金属プレートによる骨接合術の症例である。レントゲンでは骨折線が骨長軸方向に80mmに及ぶ斜骨折で、192mmの長いプレートにより固定された。骨折線が広範に及ぶこと、高齢であることから骨癒合の遷延が予想された症例である。レントゲンでも仮骨形成は測定期間において明らかな変化がなかった。ET測定では、0.265度と金属プレートの変形角が検出可能で、その後、わずかなET変形角の減少が検出されたが指数関数的な減少はなく、ET測定による評価により遷延治癒との判断が可能であった。内固定材料そのものの変形を生体内で検出可能であった。

BMD : bone mineral density (骨密度)

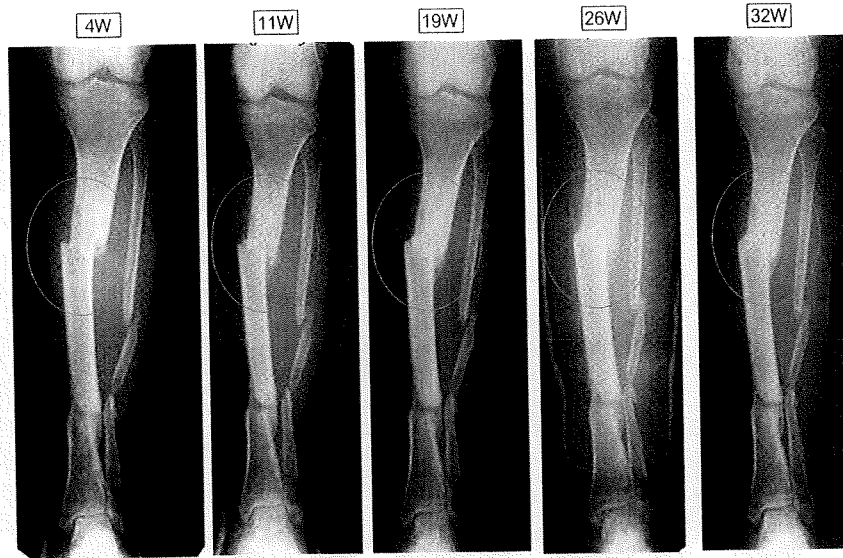


図 4-1 症例 1 の骨折部 X 線像の経時変化

24 歳女性。左脛骨近位部の骨折に対しギプスによる保存治療を行った症例の測定結果
(文献 6 より引用改変)

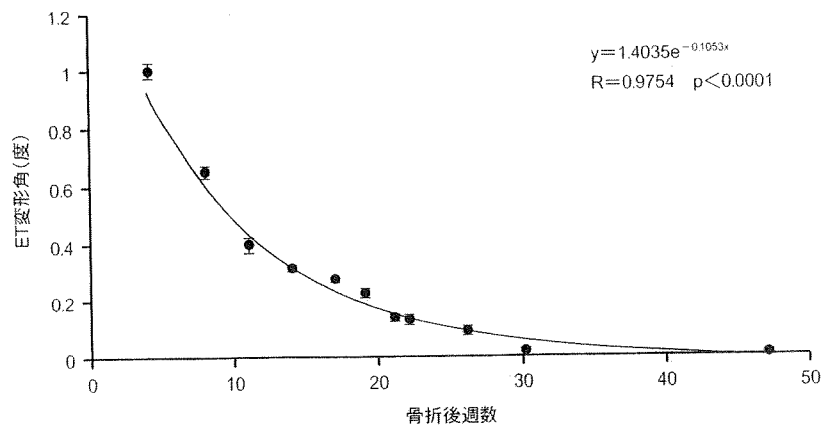


図 4-2 ET 変形角の経時変化

4 週目より 11 週目まで急激な ET 変形角の減少を示し、その後も減少傾向が続き、21 週以降の測定では健常側より少ない ET 変形角を示した。

(文献 6 より引用改変)

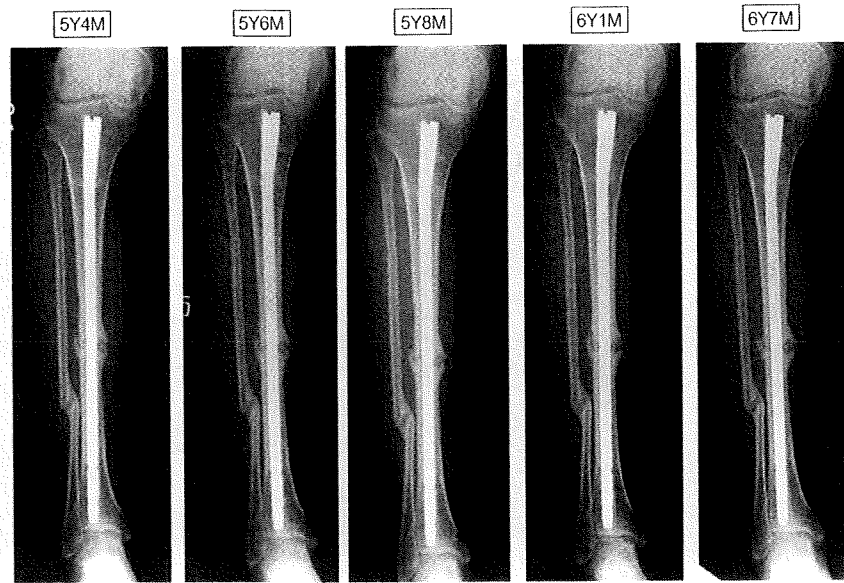


図 5-1 症例 2 の X 線像の経時変化

26 歳女性。右脛骨骨幹部骨折に対して、髓内釘による内固定術が行われた。
(文献 6 より引用改変)

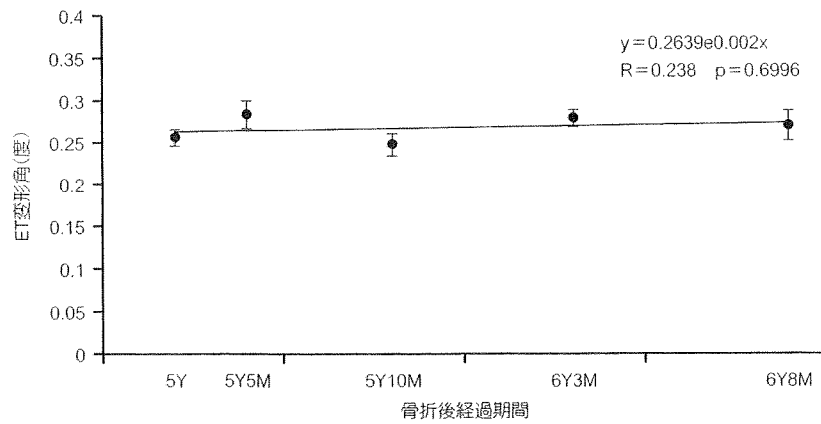


図 5-2 ET 変形角の経時変化

6 カ月の経過にて明らかな減少傾向はなく、健常側に対しても常に 5 倍以上の変形角を示していた。

(文献 6 より引用改変)

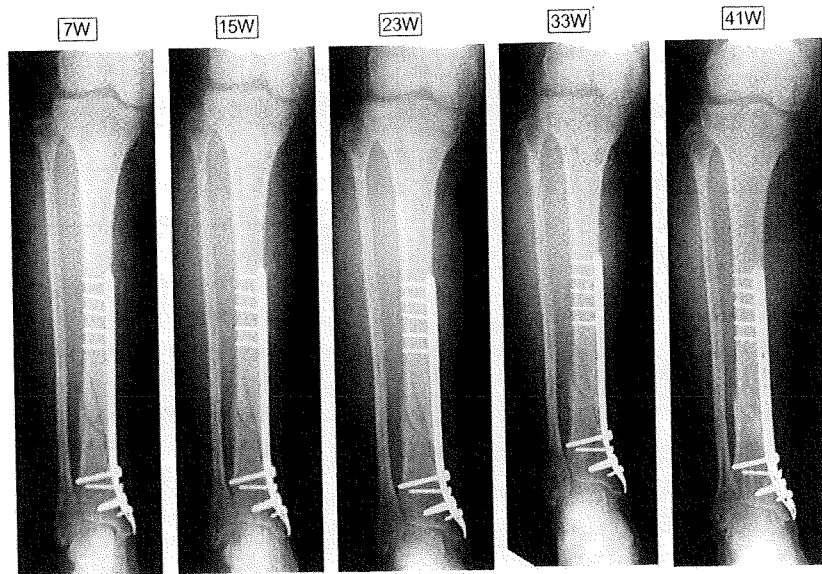


図 6-1 症例3の骨折部X線像の経時変化

右脛遠位部の骨折に対し、ステンレス製プレートにより固定を行った手術症例。
(文献6より引用改変)

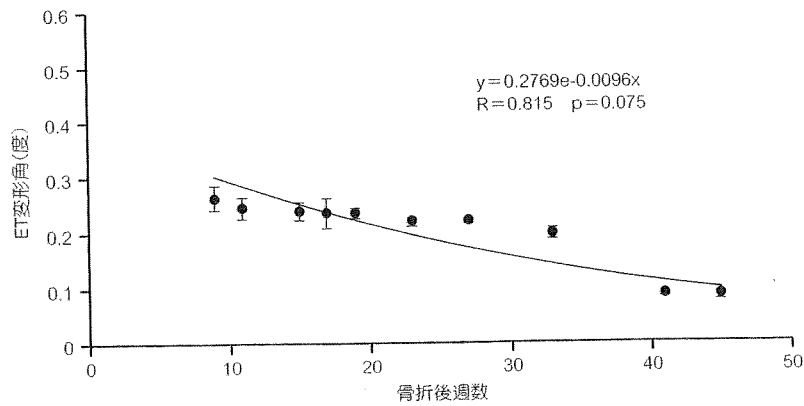


図 6-2 ET変形角の経時変化

術後9週から17週の間4回の計測を行った。8週の経過ではET変形角の減少傾向はわずかであった。

(文献6より引用改変)

この3点曲げによるET計測により、骨癒合の進行と遷延を非侵襲に定量的に判別可能であった。既存の骨癒合判定法において非侵襲に骨の力学的特性を高精度に定量評価できたものではなく、このET測定により初めて測定が可能となった。

骨癒合判定を目的とし骨折患者を対象に測定を行っているが、ET計測の対象としては健常骨の測定も可能である。年齢により骨強度が低下することは周知の事実であり高齢化が進む現在、骨粗鬆症患者の数は急速に増加し、社会問題になっている。現在、骨強度を非侵襲に評価可能な測定法は存在せず、現状においてそのほとんどが骨密度(bone mineral density:BMD)測定により代用されている。しかし、BMD測定が強度と必ずしも関連しないことはすでに明らかにされている⁵⁾。ET計測による骨強度判定が可能となれば、その応用範囲は飛躍的なものになると考える。

おわりに

本法は、非侵襲に骨癒合の強度(剛性)を定量的に評価でき、骨癒合の経過を力学的指標で診断ができる。骨癒合の遷延や不全を診断できるとともに、今後の治療法の効果判定にも適応できると思われる。特定の骨折に対して、実施している治療が効果的かあるいは治療法を追加・変更する必要があるかどうかを、感受性高く評価できれば、常に

最適な骨折の治療法を選択できる。そのための定量的診断法として有用性を発揮する可能性がある。

文 献

- 1) Bhandari M, et al : A Lack of Consensus in the Assessment of Fracture Healing Among Orthopaedic Surgeons. *J Orthop Trauma* 16 (8) : 562-566, 2002.
- 2) Hokanson DE, Mozersky DJ, Sumner DS, et al : A phase-locked echo tracking system for recording arterial diameter changes *in vivo*. *J Appl Physiol* 32 (5) : 728-733, 1972.
- 3) J Matsuyama, et al : A new method for measurement of bone deformation by echo tracking. *Med Eng & Phys* 28 : 588-595, 2006.
- 4) R Sakai, et al : A Minute Bone Bending Angle Measurement Method Using Echo-Tracking for Assessment of Bone Strength *In Vivo*. *Proc IEEE Ultrasonics Symposium* : 241-244, 2008.
- 5) Cranney A, Guyatt G, Griffith L, et al : Meta-analyses of therapies for postmenopausal osteoporosis. IX : Summary of meta-analyses of therapies for postmenopausal osteoporosis. *Endocrine Reviews* 23 (4) : 570-578, 2002.
- 6) Matsuyama J, Ohnishi I, Sakai R, et al : A New Method for Evaluation of Fracture Healing by Echo Tracking. *Ultrasound in Med & Biol* 34 (5) 775-783, 2008.

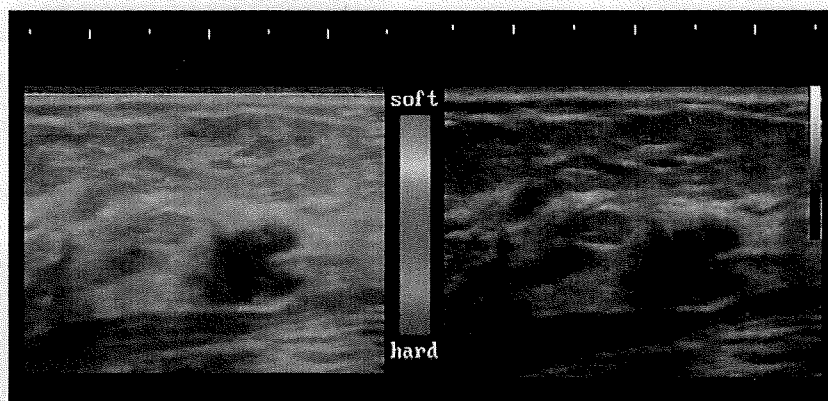


超音波医学

Vol.36, Supplement
April 2009

JAPANESE JOURNAL OF MEDICAL ULTRASONICS

日本超音波医学会
第82回学術集会プログラム・講演抄録集



OFFICIAL JOURNAL OF
THE JAPAN SOCIETY OF ULTRASONICS IN MEDICINE
社団法人日本超音波医学会

82-H-001

超音波による関節軟骨音速の高精度計測法

宮坂好一¹、廣田浩二¹、酒井亮一¹、皆川栄一¹、村下賢¹、大橋 暁²、大西五三男²、中村耕三²
¹アロカ株式会社研究所、²東京大学医学部整形外科教室

【はじめに】

近年、高齢化の進展に伴い変形性関節症の患者数が増加している。超音波を用いて関節軟骨の厚みや体積を定量評価するためには、関節軟骨の音速を把握する必要がある。そこで、in-vitro で関節軟骨音速を高精度に計測する方法を考案したので報告する。

【方法】

反射法で軟骨媒質中の超音波の飛翔時間を計測し、この値と光学的な軟骨断面の厚み計測値から軟骨の音速を求める¹⁾。超音波法での計測位置と光学的な厚み計測を行う断面位置とを高精度に一致させるために、Fig1 に示す専用の計測治具を開発した。Fig2 に示す軟骨試料を収納する専用アクリルボックスを用意し、このボックスの側面を基準面に設定することで、超音波法と光学法の音速計測位置を精度良く一致させた。目標の位置精度は0.1mm以内とした。使用した超音波探触子はPanametrics社製NDT-M311で、送波した超音波の中心周波数は7.3MHz、-3dB帯域幅は7.9MHz、焦点距離は63.5mm、焦点位置での-6dBビーム幅は1.03mmである。送受信機は同社製NDT-5800で、反射エコーはデジタルオシロスコープで収集し、このデータをパソコンへ転送してオフライン処理した。超音波の飛翔時間は、軟骨境界面からの反射エコー振幅のピーク位置を検出して求めるが、受信RF信号を解析信号に変換後、これの絶対値の最大値を測定媒質の境界位置とした。今回は、豚の膝軟骨を対象に音速計測を試みた。

【結果】

考案した軟骨音速計測治具を用いて、超音波法と光学法との計測位置を目標精度内で一致させることができた。そこで成豚と幼豚の大腿骨遠位顆部の膝関節軟骨を対象に、軟骨音速を計測した結果、成豚の軟骨音速は 1717 ± 105 m/s、幼豚は 1488 ± 48 m/sで、成豚軟骨の音速が速かった。

【まとめ】

関節軟骨の音速を精度良く計測する方法を考案し、性能を評価した。

【参考文献】

- 1) S.L. Myers et al., Experimental assessment by high frequency ultrasound of articular cartilage thickness and osteoarthritic changes, J. Rheumatol., 22, 109-116, 1995.



Accurate Method for Measuring the Speed of Sound in Joint Cartilage by using Ultrasound

Koichi MIYASAKA¹, Koji HIROTA¹, Ryoichi SAKAI¹, Eiichi MINAGAWA¹, Masaru MURASHITA¹, Satoru OHASHI², Isao OHNISHI², Kozo NAKAMURA²
¹Research Laboratory, Aloka Co., Ltd., Tokyo, Japan, ²Department of Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, Japan

82-H-002

RVSの関節画像への応用：超音波画像と3T MRIの同時並列表示

新津 守

首都大学東京健康福祉学部放射線学科

【目的】

四肢関節の表在超音波画像と三次元撮像によるMR画像の同時表示を試みる。

【対象と方法】

超音波画像と三次元CT・MR画像を融合させるReal-time Virtual Sonography (RVS)法(日立メディコ)を関節画像に応用した。本手法は磁気発生器からの三次元空間位置情報を探触子に内臓した磁気センサーで感知する。この超音波画像の断面位置(x, y, z空間位置とx, y, z軸に対する回転角度)を、双方の座標系を変換、対比することで、事前に撮像した三次元画像から、同一の断面をリアルタイムに描出するものである。すでに多列CTによる三次元CTデータを用いて、肝腫瘍の位置確認などに臨床応用がなされている。超音波診断装置はEUB-7500(日立メディコ)、リニア型プローブ(6-14MHz)、MRIはAchieva 3.0T(Philips)、8-channel Knee coilを使用した。既往症のない成人男性の膝関節と肩関節の三次元MR画像を撮像し、そのDICOMデータを超音波診断装置のRVSシステムに移行、MRI撮像時と同様の肢位にて超音波画像を得た。

【結果と考察】

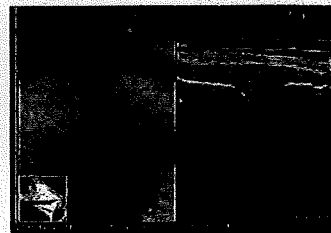
膝関節と肩関節の表在超音波画像に対応するMRI断面がほぼリアルタイムに表示できた。両者共に空間分解能は0.数mmのポテンシャルを有し、膝関節の内側側副靭帯(MCL)浅層と深層が超音波画像とMRIの両者で鑑別、確認可能であった。またMCL浅層と筋膜層の区別、MCL脛骨付着部の立体的構造の確認が可能であった。表在超音波画像は高詳細画像が得られ、関節の微細構造描出には今

後の応用が大いに期待されている。ただし関節の超音波画像は現在、広く普及したとは言えず、さらにその描出は術者の技量、つまりは解剖学的知識に大きく依存する。超音波画像断面を、すでに解剖学的に認識されているMR画像をリアルタイムに並列表示することにより、微細構造の把握、客観的評価が可能となり、初学者の教育にも有用とも思われる。

靭帯、半月板、軟骨など、微細な構成要素を有する関節画像の超音波とMRIの同時描出の精度は、初期ランドマーク設定に大きく左右される。この初期設定と操作中の微調整が今後の課題と考えられる。

【結論】

RVSを関節画像に応用し、超音波画像とMRIの同時並列表示が可能であった。



Virtual Sonography of the Joints: Simultaneous Display of the Sonogram and 3T-MRI

Mamoru NIITSU

Radiology, Tokyo Metropolitan University