

RVSを基礎とした新しいアプリケーション 3D Sim-Navigatorを用いたRFA

RFA Using 3D Sim-Navigator : a Novel Application Based on RVS

坂本 梓 Azusa Sakamoto
喜多 竜一 Ryuichi Kita

木村 達 Toru Kimura
大崎 往夫 Yukio Osaki

大阪赤十字病院 消化器内科

バイポーラRFA(Radio Frequency Ablation)システムであるCelon^{®1} POWERは、複数本の電極針を用いることで、マルチポーラとして機能し、短時間に広範囲の焼灼を行うことができる。しかし、良好な焼灼域を得るためには、複数本の電極針それぞれを、標的結節を中心に3次元的に適切な位置に配置する必要がある。これを2次元の断層画像である超音波誘導下に行うことは技術的に難しい。今回われわれは、fusion画像技術(RVS: Real-time Virtual Sonography^{®2})を応用し、穿刺シミュレーションを行うことができる3D Sim-Navigator (株式会社日立製作所製)を使用する機会を得たので、その有用性と問題点を報告する。

A bipolar RFA (Radio Frequency Ablation) system Celon^{®1} POWER is, by using a plurality of electrode needles, it acts as a multi-polar, can perform a wide range of ablation in a short time. However, in order to obtain good ablation zone, a plurality of electrode needles, it is necessary to place the center in three-dimensionally proper position of the target nodule. It is technically difficult to perform this in the ultrasound-guided in a two-dimensional tomographic image. Here we are applying the image fusion techniques (RVS: Real-time Virtual Sonography^{®2}), since the opportunity to use the 3D Sim-Navigator (manufactured by Hitachi, Ltd.) capable of performing the puncture simulation and report its usefulness and problems.

Key Words: 3D Sim-Navigator, RVS, Bipolar RFA, Multipolar RFA

1. はじめに

バイポーラRFAシステムであるCelon^{®1} POWER(オリンパスメディカルシステムズ株式会社製)が2012年に日本で保険収載され、我が国のRFA治療に新たな選択肢が加わった。バイポーラRFAシステムは、対極板の貼付が不要で、体内に還流する電流が電極針周囲に限局することから熱効率がよく焼灼が可能で、患者のうつ熱を避けることができる。また、複数本の電極針を用いることで、短時間に広範囲の焼灼を行うことができる^{1)~4)}。その特徴により、従来の電極針では複数回の穿刺・凝固による重ね焼きが必要な腫瘍径の大きな肝癌、転移性肝癌に対して極めて有用である。また、理論的に腫瘍の外側を挟み込むように穿刺、焼灼すること(no touch ablation)により、腫瘍の直接穿刺による播種のリスクを避けることも可能である。しかし、良好な焼灼域を得るためには、ドジメトリートーブルで推奨されているように(図1)、複数本の電極針それぞれを、標的結節を中心に3次元的に適切な位

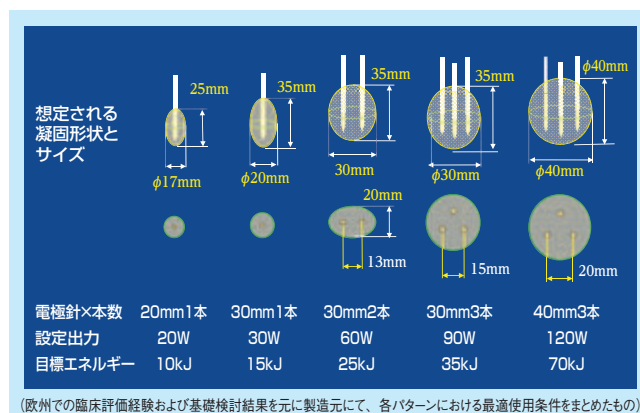


図1: Celon POWER ドジメトリートーブル

置に配置する必要がある。

超音波誘導下に電極針を穿刺する場合、2本穿刺までは同一平面上でモニターすることが可能であるが、3本の電極針

を使用する場合、超音波誘導下に電極針の3次元的な位置関係を認識することは難しく、そのため適切な配置が行われず、期待する焼灼域が得られない場合も生じうる。この問題を回避するための一手段として、超音波誘導下にRFAを行う際に利用可能な術前シミュレーションおよびナビゲーションシステムが考案されている。

今回われわれは、fusion画像技術を応用し、術直前にベッドサイドで繰り返し穿刺シミュレーションを行うことができ、さらに術中ナビゲーションとしても利用可能な、株式会社日立製作所製のReal-time Virtual Sonography^{®2}(以下、RVS)技術を基に新たに開発されたアプリケーションである3D Sim-Navigatorを使用する機会を得たので、その有用性と問題点を報告する。

2. 3D Sim-Navigator

RVSはCTやMRIなどのボリュームデータを取り込んで、観察中の超音波画面と同一断面のMPR(Multi Planar Reconstruction)画像を同期表示する技術である。2003年に初期モデルが臨床使用可能となり、その後、複数画像シリーズの同時参照が可能になり、マーキング、シンプル・アジャスト、レジストレーション機能などを順次搭載し、今日まで着実に発展的進歩を続けてきた^{5)~7)}。3D Sim-NavigatorはRFAの治療前シミュレーター、治療中のナビゲーターとしての使用を想定して開発された、RVS技術を基礎とした新たなアプリケーションである。基本画面は4画面で、観察中の超音波断層像、その同一断面のCT(MRI)-MPR画像、C-plane像、3D像から構成される(図2)。

次にわれわれが行っているRFAの術前シミュレーションの実際を述べる。まず下準備として、リファレンス断層画像上で球マーカーを用いて標的腫瘍を中心点から腫瘍を包むようにマーキングしておく。この球マーカーは超音波断層像、C-plane像、3D像に反映される。C-plane像は球マーカーの中心を含み、穿刺ラインに直交するMPR像が表示される仕組みとなっている。超音波プローブで標的病変を観察し、穿刺ラインを決定した時点で、表示している穿刺ラインに沿って仮想の針先をマーキングすることで、穿刺シミュレーション

ラインを描くことができる。特筆すべき点は、穿刺ラインを決定する際に、通常の超音波断層像では表示されないC-planeを参照しながら行えることである。すなわち、C-plane上に表示される腫瘍の赤道断面(穿刺ラインに直行する腫瘍中心を含む腫瘍断面)と穿刺ラインとの位置関係を参照できることから、CelonPOWERの3本の電極針を標的腫瘍に合わせて意図した位置に配置することが極めて容易となる(図2)。また3本のシミュレーションラインを決定した後に、3D像でそれぞれのラインと腫瘍との3次元的な位置関係を適宜回転させながらいろいろな角度から確認することができる(図3)。この際、数値(mm)で表示されるシミュレーションライン間の距離(図3)を参考にして、ドジメトリーテーブルに沿った配置であるかを確認する。表示される数値は、3本それぞれの仮想のCelon Power電極針の絶縁体間の距離をmm単位で計算したものである。このシミュレーションは、最適なシミュレーションラインが得られるまで繰り返し行い、最適な穿刺点と穿刺ラインを決定する。このシミュレーションは準備も操作も比較的容易で、極めて実用的と言える。術直前に簡単にベッドサイドで行うことも可能である。

この3D Sim-Navigatorは電極針穿刺時のナビゲーションとしても利用することができる。

電極針穿刺時にナビゲーションとして使用する際には、C-plane像および3D像が参照画像として有用性を発揮する。複数本の電極針おのおのが適切な位置関係にあるかを、C-plane像および3D像を確認しながら穿刺することが可能である。また、電極針を穿刺した直後に針先のマーキングを

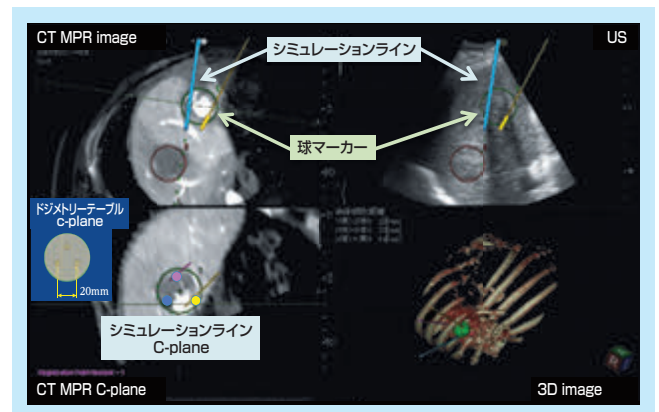
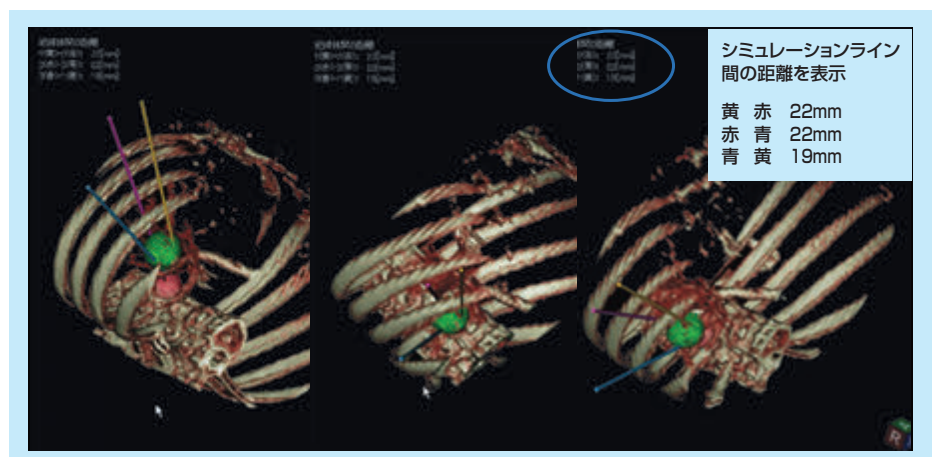


図2 : RVS 3D Sim-Navigator

図3 : 3D像およびシミュレーションライン間距離の表示

3D像は回転させ、多方向から確認することができ、シミュレーションラインがドジメトリーテーブルの理想に近いか確認することができる。また、シミュレーションライン間の距離を数値で示すことができる。



行えば、穿刺した電極針の位置そのものを示すラインをMPR像上に表示させることができる。電極針を穿刺したままCT撮影などを行わなくても、C-plane像・3D像で電極針の位置を確認することができ、電極針間の距離も測定することができる(図4)。これらの機能は従来のfusion画像技術にはない、革新的なものと言える。

3. 3D Sim-Navigatorの有用性の検討

3D Sim-Navigatorの有用性を検証するために、3D Sim-Navigatorを使用し、当院でバイポーラ電極針を複数本使用した症例における治療成績および、凝固体積の検討を行った。

【対象と方法】2014年5月から2015年7月に当院で3D Sim-Navigatorを使用しRFAを行った症例で、CelonPOWERを使用し複数本の電極針で穿刺した28例32結節を対象とした(表1)。

図4：穿刺前シミュレーションラインと、穿刺時ラインを比較

左に術前シミュレーションの3D像を、右に電極針穿刺時に登録した穿刺時ラインの3D像を示している。理想的な術前のシミュレーションラインに比較し、電極針穿刺時のラインはやや偏りがあり、腫瘍腹側(黄色→)、腫瘍下縁(赤色→)にてmarginが不足する可能性が示唆された。効果判定のCTでは、3D Sim-Navigatorから予測された通り、腫瘍の腹側(黄色→)、下縁(赤色→)にてmarginが不足していた。3D Sim-Navigatorは極めて精度が高いことが確認された症例であった。

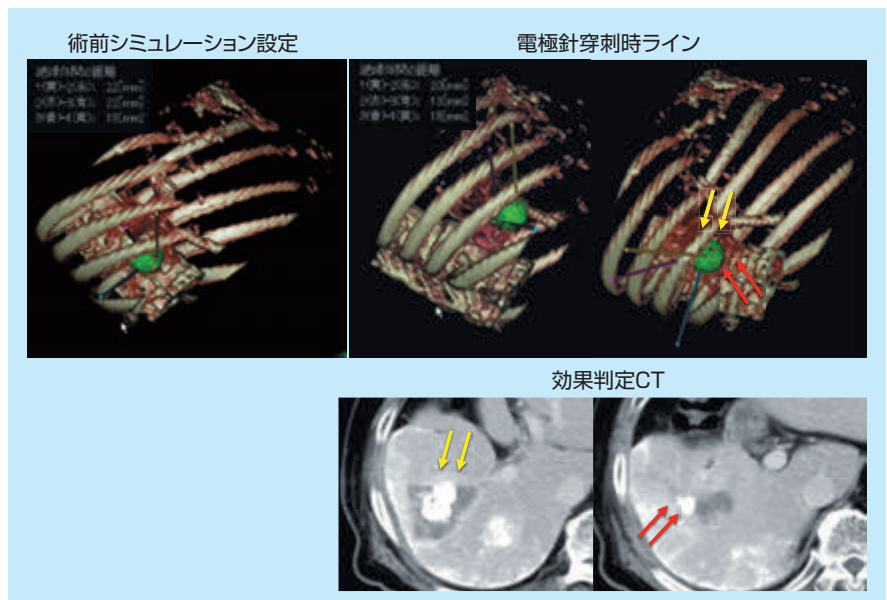


図5：S7直径45mmの肝細胞癌に対する電極針3本でのdouble triangle法

様々な理由により手術ではなくRFAで加療を行った症例である。肝動脈塞栓術を併用し、C-plane像で三角形を2個形成するよう、1本目(黄色)の電極針を上下の肋間より穿刺し直し2回焼灼する、double triangle法のシミュレーションを行った。シミュレーション通りの焼灼を行い、大きな腫瘍であったが1セッションで完全壊死が得られた症例であった。

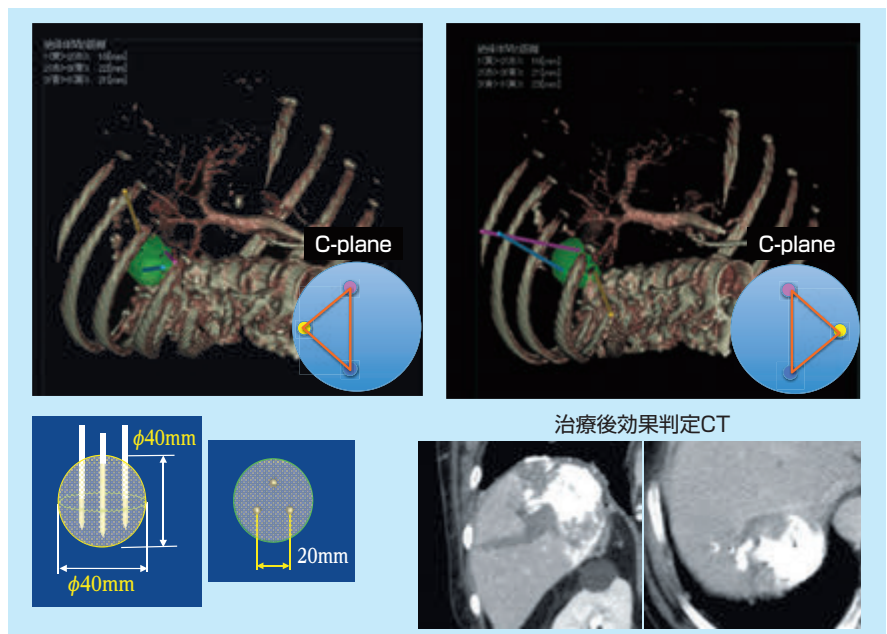


表1：対象症例、結節の内訳

	celon
症例	28
結節	32
HCC：転移性肝癌	26結節：6結節
LC：CH：Normal liver	15例：7例：6例
平均腫瘍径	28.2±11.5 mm

US装置は日立製作所製HI VISION Preirus^{※3}とPCを用いたプロトタイプを、プローブはEUP-B715、EUP-B712を使用した。

RFA焼灼方法はCelonPOWER使用の際に推奨されているドジメトリーテーブル(図1)の基準に従って焼灼を行った。この基準に従って治療を行った症例で、2回焼灼例やdouble triangle例(図5)を除いた症例では、凝固体積をSYNAPSE^{※4}VINCENT^{※5}(富士フィルム株式会社製)を用いて抽出した。

治療効果判定はRFA施行後1日～4日に撮像したdynamic造影CTにて行い、既報のGrade判定を用い⁸⁾、Grade A～Cを遺残なしと判定した。

【結果】平均腫瘍径 28.2 ± 11.5 mm、使用電極針は20mm電極針2本：1結節、30mm電極針2本：8結節、30mm電極針3本：8結節、40mm電極針2本：1結節、40mm電極針3本：14結節であった。2結節では2回焼灼を行い、3結節ではdouble triangle法を用いた(表2)。

電極針3本使用症例の平均腫瘍径は 32.3 ± 10.5 mmで2本使用例 17.7 ± 6.1 mmに比較し有意に大きい結節を対象としていた($p < 0.001$)(表2)。

SYNAPSE VINCENTより抽出し得られた実際の凝固体積の平均値は、ドジメトリーテーブルから推測される予測体積を大きく上回る結果であった(表3)。

1セッションで遺残なく治療を完遂できた割合は全体で65.6%であった。電極針2本使用例および3本使用例ではそれぞれ60.0%、68.2%で、電極針数別で有意差はなかった($p = 0.474$)(図6)。

表2：使用電極針、本数、腫瘍径の一覧

	T20 2本	T30 2本	T40 2本	T30 3本	T30 3本
結節数	1	8	1	8	14
腫瘍径 (mm)	15.0	16.1 ± 4.0	13.0	24.3 ± 4.5	38.7 ± 9.2
	2回焼灼	2回焼灼 2結節 no touch ablation 2結節	4cm3本で 焼灼した 結節に合併	Double triangle法 1結節	Double triangle法 2結節

表3：凝固体積(ドジメトリーテーブルに従って焼灼した症例)

	Celon3cm 2本	Celon3cm 3本	Celon4cm 3本
ドジメトリーテーブルから 予測される凝固体積	11.0cm ³	16.5cm ³	33.5cm ³
RFA後凝固体積 Vincentにて抽出	15.6 ± 2.0 cm ³	28.3 ± 10.3 cm ³	63.0 ± 36.4 cm ³

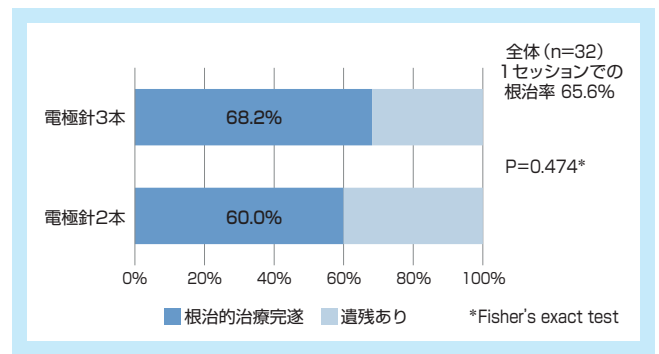


図6：治療成績(電極針2本vs3本)

3本穿刺例は難易度が高く、腫瘍径の大きい結節を対象としているにも関わらず、3D Sim-Navigatorを使用することで良好な治療成績を得ることができた。

4. 考察

凝固体積の検討では、実際の凝固体積はドジメトリーテーブルから推測される予測体積を大きく上回る結果であり、3D Sim-Navigatorを使用することで適切な焼灼が行われていたと推測された。しかし、当院でのCelonPOWER使用例は平均腫瘍径が 28.2 ± 11.5 mmと大きいため、1セッションでの根治的治療完遂率はやや低い結果であった。一方、電極針3本使用例においては、2本使用例に比較し有意に腫瘍径の大きな結節を治療対象とし、3次元的に電極針の適切な配置が困難であるにも関わらず、3D Sim-Navigatorを使用することで、電極針2本使用例と比較し有意差はないものの良好な治療成績を得ることができた。超音波画像単独では認識し難い3本の電極針の位置関係を、3D Sim-Navigatorを使用し把握できたからこそ得られた結果と言える。

3D Sim-Navigatorは、3D像で3次元的に電極針の位置関係を確認することができ、電極針3本間の絶縁体間距離を数値で示すことができる。従来のシミュレーションと大きく異なる点として、リアルタイムに超音波を行いながら、術直前にもシミュレーションを行うことができ、ナビゲーションとしても使用できるという点で、画期的なシステムと言える。

しかし、使用経験の中でいくつかの問題点も明らかとなってきた。

まず、術前に設定したシミュレーションラインに沿って穿刺を行うことが現実として困難な点があげられる。その原因はいくつか考慮されるが、第一には、術前と術中の呼吸・体位が完全に一致していないため、fusion imagingの性質上MPR画像とUS像にずれが生じるためと考えられる。これはfusion imagingの性質上避けられないものではあるが、精度の向上に期待したい。

また、術前にシミュレーションラインの設定は可能であっても、肋骨の厚みのために実際には電極針を穿刺できないケースがある。この問題点は肋骨の厚みなどを3D像に反映できると思われ、改善が期待できるものと思われる。

最後に、バイポーラRFAの性質上、できるかぎりドジメトリーテーブルに従って焼灼を行っても、完全な球体の凝固域が得られないため、設定したシミュレーションから理想的な

凝固域が得られるかどうか、実際に穿刺した電極針の配置から理想的な凝固域が得られるかどうかの評価が難しい現状がある。シミュレーションライン設定時や、電極針穿刺時にラインを登録した際に、その設定ラインより予測凝固域を表示できる機能が備われば、より完璧なシミュレーション、ナビゲーションシステムとなり、利便性が向上すると考えられる。今後、そのような機能が備わるよう期待したい。

5. おわりに

3D Sim-Navigatorはリアルタイムに超音波で観察しながら、術直前にもシミュレーションを行うことができ、ナビゲーションとしても使用できるという点で、画期的なシステムと言える。バイポーラRFAシステムの複数本電極針使用時にその利便性は最も発揮されるシステムと考えられ、今後の改良にも期待したい。

※1 Celonはオリンパス ウィンター アンド イベ ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツングの登録商標です。

※2 Real-time Virtual Sonography、※3 HI VISION PreirusおよびPreirusは株式会社日立製作所の登録商標です。

※4 SYNAPSEおよび※5 VINCENTは富士フイルム株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) Tacke J, et al. : Multipolar radiofrequency ablation : first clinical results. Fortschr Rontgenstr 2004 ; 176 : 324-329.
- 2) Frericks BB, et al. : Multipolar radiofrequency ablation of hepatic tumors: initial experience. Radiology 2005 ; 237 : 1056-1062
- 3) Terraz S, et al. : Image-guided multipolar radiofrequency ablation of liver tumours: initial clinical results. Eur Radiol 2007 ; 17 : 2253-2261
- 4) Osaki Y, et al. : Clinical effectiveness of bipolar radiofrequency ablation for small liver cancers. J Gastroenterol 2012 ; Oct 10. [Epub ahead of print]
- 5) 三竹 毅, ほか : Real-time Virtual Sonographyの開発. MEDIX, 40 : 31-35, 2004.
- 6) 大崎 往夫, ほか : RVSの進歩とGd-EOB-MRI時代における新しい臨床応用. MEDIX, 54 : 8-11, 2011.
- 7) 木村 達, ほか : Real-time Virtual Sonographyが肝癌診療にもたらしたもの - 当院における10年の経験から. MEDIX, 60 : 4-10, 2014.
- 8) H Nishikawa, et al. : Radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: the relationship between a new grading system for the ablative margin and clinical outcomes. J Gastroenterol. 2013 Aug ; 48(8) : 951-65.