

研究開発促進委員会報告

本報告書は以下のような経緯により提出されました。

平成 30 年度の研究開発班設置の募集に対しまして、森川浩安氏（当時 大阪市立大学）を代表者とする「超音波速度及び超音波速度変化を用いた深部温センシング」が申請されました。研究開発促進委員会による審査の結果、採択され、研究期間は 2 年間、1 年目に 200 万円、2 年目に 180 万円が支給されました。

研究開発班では、研究期間終了後の学術集会での成果発表と論文投稿（6 ヶ月以内）が義務付けられています。しかしながら、新型コロナウイルスの影響により成果発表は実施されず、令和 2 年 10 月 1 日には和文論文の投稿がなされましたが、掲載には至りませんでした。この状況について検討した結果、代替として報告書を掲載し、活動終了とすることになりました。

長らく報告書が未提出でしたが、この度ご提出いただきましたので、以下に掲載します。なお、研究開発班設置事業は、これを持ちまして正式に終了することを申し添えます。

令和 6 年度研究開発促進委員会
委員長 新田尚隆

平成 30 年度研究開発班報告書

「超音波速度及び超音波速度変化を用いた深部温センシング

－超音波速度変化法を用いたラジオ波焼灼術における焼灼領域の描出－

報告者：和田 健司（大阪公立大学，現代表者）

開発参加者：堀中 博道（大阪公立大学），松中 敏行（TU 技術研究所），

打田（小林）佐和子（大阪公立大学），菊川佳菜子（大阪公立大学），

森川 浩安（もりかわ内科クリニック）

研究成果

目的：ラジオ波焼灼（Radio-Frequency Ablation, 以下 RFA）による焼灼領域の描出に対する超音波速度変化（Ultrasonic Velocity Change, 以下 UVC）法の適用性について検討した。

対象と方法：ウシ摘出肝の切片（食用肉，約 6 g）を樹脂製の円筒管（内径 1.5 cm）に詰めた。円筒管の両端は送信・受信の一对の超音波トランスデューサ（動作中心周波数 2 MHz）で挟み、恒温槽内に設置した。恒温槽内の水温を変化させ、試料温度を 28℃ から 70℃ まで上昇させた場合と、その後 70℃ から 28℃ まで降下させた場合の超音波 RF パルス透過波をパルサ・レシーバ装置（JPR-600 C, ジャパンプローブ社製）を用いて観測し、そのシフト量から試料中の超音波速度の温度依存性を見積もった。再現性を確認するために同じ実験を 5 回繰り返した。

次に、ウシ摘出肝（食用肉，約 4 kg）を測定試料として模擬的に RFA 実験を行った。RFA 装置には市販品（Cool-tip RFA システム E シリーズ, コヴィディエン ジャパン社製）を用いた。摘出肝を電極

板の上に設置し、電極針（長さ 20 mm）を摘出肝の中心部に刺し、この領域を垂直上方向から観測するために摘出肝の上面に超音波リニアアレイトランスデューサ（動作中心周波数 7.5 MHz）を配置した。焼灼開始から焼灼終了の約 10 分後まで 5 秒ごとに超音波エコー画像（1 スキャンラインあたりのサンプル点数：1024，ライン数：345）を連続的に取得し、後処理により近接するエコー画像間の差分情報（パルス伝搬平均時間 τ に対するパルスシフト量 $\Delta \tau$ ）を読み出し、速度変化割合（ $\Delta v/v$: Δv : 速度変化量， v : 超音波平均速度）を求め、UVC 画像を描出した。

結果と考察：Fig. 1 に示すように、ウシ摘出肝の切片試料に対して、超音波速度は 28 ~ 44℃ の昇温区間（●印）では増加し、44 ~ 70℃ の昇温区間では逆に減少し、44℃ 付近に極大値を持った。一方、降温時（○印）には、70 ~ 60℃ の降温区間における超音波速度変化は昇温時のそれにほぼ一致したが、60 ~ 28℃ の降温区間では、超音波速度は昇温時よりも速くなり、その差は温度降下とともに拡大した。ただし、昇温上限を 40℃ 付近までに限定した場合は、

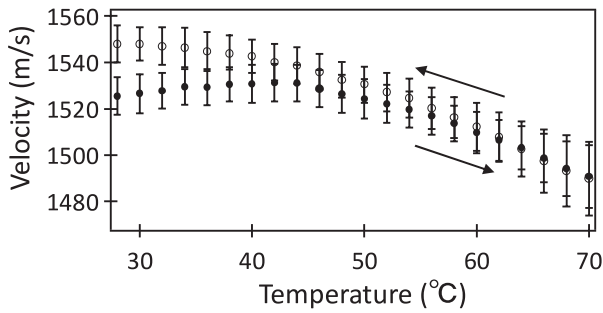


Fig. 1 ウシ肝臓試料中の超音波速度の温度依存性. 昇温時 (●), 降温時 (○) の超音波速度の平均値

降温時の超音波速度変化は 28 ~ 44°C の昇温区間の履歴に可逆的に一致することを確認した. これは, 試料に含まれる水分量の違いを反映していると考えられ, 熱変性を受けた部位 (水分の少ない部位) を焼灼領域として描出できる可能性が示された.

Fig. 2 に焼灼領域の写真 (a), 焼灼終了から 80 秒経過して取得した B モード画像の例 (b) とこれに対応する UVC 画像 (c) を示す. RFA 実験は計 10 回行い, すべての場合において, Fig. 2 (a) の例のように試料内で直径約 2.4 cm の球状の焼灼領域が安定に形成されることを確認した. Fig. 2 (b) の B モード画像では, 電極針付近に高輝度領域 (深さ 7-20 mm, 横 10-25 mm) が広がり, この領域は UVC 画像 (Fig. 2 (c)) では, 赤色, 青色が混在する高いコントラストを持つ領域として描出された.

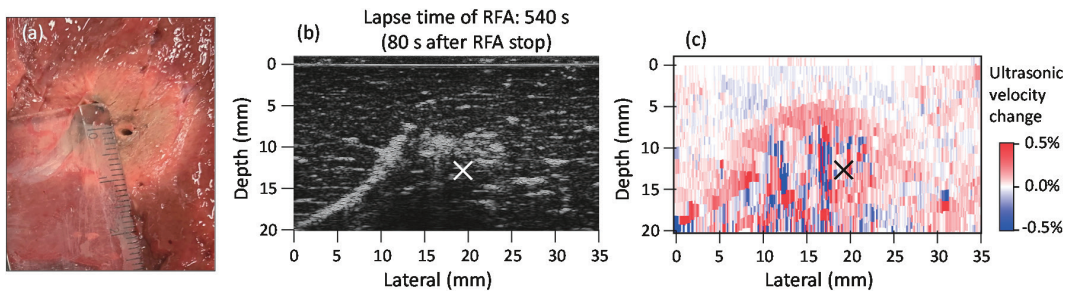


Fig. 2 ウシ摘出肝を用いた RFA 実験における (a) 焼灼領域の写真, RFA 終了 80 秒後の (b) B モード画像と (c) 対応する UVC 画像. ×印は電極針の位置

これは, 温度変化の影響よりも水分の流入等に伴って生じた物理的な組織移動を反映した結果であると推察される. 一方, この高輝度領域を覆うように上部に赤色領域 (深さ 4-10 mm, 横 7-27 mm) が広がり, さらにその上部に青色領域が描出されている. 青色領域は, 温度降下時に超音波速度が遅くなる領域であり, Fig. 1 の結果に照らして, 温度 44°C 以下の非焼灼領域に対応する. これに対して赤色領域は, さらに温度降下を数分間続けた後も青色に転じなかったため, 熱変性した焼灼領域であると断定された. 赤色領域と青色領域の境界は円弧状に描出され, 試料写真 (Fig. 2 (a)) の目視で確認できる焼灼部位と非焼灼部位の境界に一致した. したがって, 焼灼領域は, B モード画像で描出される高輝度領域だけでなく, その周辺にも広がること示された.

このように UVC 法を利用することにより, RFA 術後に焼灼領域の安定かつ明瞭な描出が可能であることがわかった. ただし, 高い脂肪含有率を持つ試料を用いた場合, Fig. 1 に見られる超音波速度の極大値特性が消失することが報告されており, 今後, UVC 法の有用性についてさらに詳細に調べる必要がある.

結語: 超音波速度変化法がラジオ波焼灼術における術後の焼灼領域を描出する有効な手法となる可能性を示した.