

光超音波トモグラフィで皮膚の精細な3D血管地図の作成に成功

—より安全かつ良質な皮弁移植術の確立を目指して—

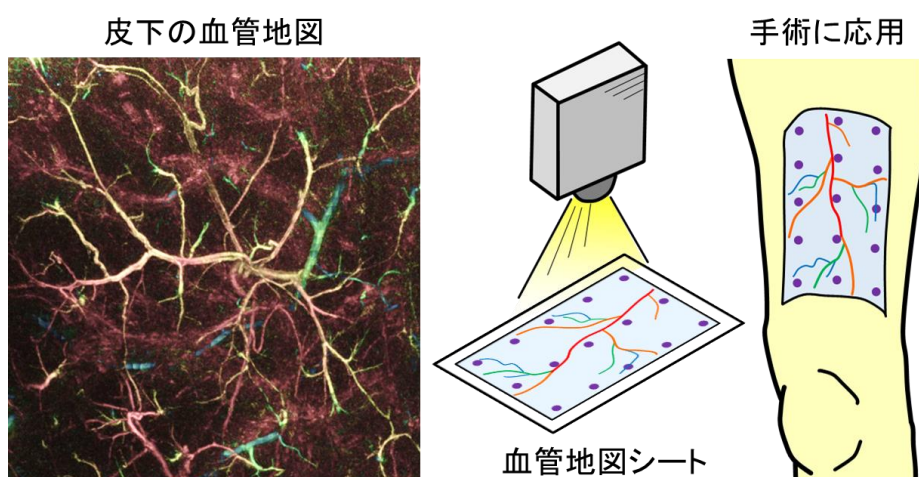
概要

内閣府 総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の八木隆行プログラム・マネージャーの研究開発プログラムの一環として、京都大学の戸井 雅和教授グループの一つ、齊藤 晋 講師、津下 到 特定病院助教らの形成外科チームは、光超音波トモグラフィ^{※1}による皮膚の精細な3D血管地図の作成に成功しました。

がんの切除後に組織の欠損が生じた場合、体の別の部位から血管を付けた状態で皮膚や皮下脂肪を採取し、欠損部の近くにある血管と吻合させることによって組織を移植する手術が行われます。これを遊離皮弁移植術といいます。太ももの皮膚はしなやかで、また採取による後遺症もほとんど無いため、近年ではよく移植ドナーとして用いられています。顔や手などの形を精巧に再現しようとするればより薄い皮弁^{※2}が必要となりますが、薄くすればするほど血管が損傷されるリスクが高くなるため、経験の豊富な医師でも危険性の高い手術でした。

本研究では「光超音波トモグラフィ技術」を用いて太ももの撮影を行い、超音波やMRIでは描出できない細かい血管のネットワークを描き出すことができました。さらに、深さごとに色分けを行うことによって、3次元の情報を含んだ血管地図を作ることに成功しました。光超音波トモグラフィは、血管に光エネルギーを与えることにより発生した超音波を感知して、血管を映像化する新しい撮影技術で、撮影に造影剤を用いないために極めて安全に検査をすることができます。本研究は、光超音波トモグラフィが移植治療における術前評価法として有用であることを示し、より優れたがん治療法の創出にもつながる画期的なものです。

本研究成果は、2018年4月27日に米形成外科学会の学術誌「Plastic and Reconstructive Surgery」に掲載されました。



1. 背景

がんの切除や事故による怪我などによって組織に欠損を生じた場合、からだの他の部分から皮膚や皮下組織と血管を付けた状態で採取し、欠損部の近くにある血管と吻合を行うことによって組織の再建を行います。これを遊離皮弁移植術といいます。近年では採取部の後遺症が少ないという理由で、大腿の外側の皮弁がドナーとしてよく選択されています。

大腿の皮弁は顔面や四肢など様々な再建手術に用いられていますが、脂肪が厚い場合には、欠損部へ厚い皮弁が移植されてしまうデメリットがあります。もし厚みが過剰な場合には、数か月～1年以降に薄くする追加手術を行いますが、それまでは機能的にも見た目にも悪い状態が続きます。また十分な改善を得るために数回の修正を要することもまれではありません。このような欠点を改善するために、初めから皮下脂肪を削ぎ落して皮弁を作成する方法を、薄層皮弁術といいます。薄層皮弁術は初回から見た目や機能のよい再建ができる一方、皮下脂肪を削ぎ落す行程で微細な脂肪内の血管を損傷するリスクがあるため、経験の豊富な再建外科医でも挑戦的な治療でした。

こうした皮弁移植術を成功させるためには、皮下脂肪内の血管走行を把握することが必要不可欠です。超音波検査は簡便ですが、脂肪内の血管には不向きでした。また、CTやMRIは血管を映し出すことはできるものの、造影剤のアレルギーや被ばくが問題となります。したがって、簡便で安全かつ高精度な血管撮影方法が望まれていました。

2. 研究手法・成果

光超音波トモグラフィは、人体に害がないレベルの近赤外線光のレーザーを照射し、赤血球から発生した超音波を感知して血管を映像化する新しい撮影技術です。撮影に造影剤を用いないため、極めて安全に検査ができます。本研究では、光超音波トモグラフィ技術を用いて大腿の脂肪内血管の描出に挑戦しました。

光超音波トモグラフィでの撮影対象として健常な成人男性5名の大腿を選定しました。光超音波では14平方センチの範囲の撮影に2分程度かかり、その間被験者は動くことができません。また、超音波検出器と撮影する組織の間に水を介在させる必要があります。このように撮影条件が困難なことに加えて、これまで光超音波を用いて大腿の撮影に成功した報告が無いため、どのようにして撮影するかが問題となりました。そこで、レーザー装置や超音波検出器を大きなベッドの床に埋め込み、寝たまの姿勢で大腿の撮影ができるように工夫しました。その結果、大腿部皮下の血管を描出することに成功しました。しかし、この方法では、皮膚直下にある静脈ネットワークと脂肪層の血管を判別することが困難でした。そこで大腿皮膚面を自動抽出し、皮膚からの距離によって血管を削除したり、強調したりできる画像閲覧システムを開発しました。その結果、脂肪内の直径0.5～1ミリの細かい動脈を明瞭に描出し、筋膜を貫通した穿通動脈が、皮下脂肪内で水平方向や斜めの方向に樹木の枝のように広がって分布する様子を鮮明に描き出すことができました。さらに、深さの情報をもとに血管を色分けすることにより、3次元の情報を含んだ皮下血管の血管地図を作成することに成功しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、光超音波トモグラフィが皮下血管の術前診断機器として臨床応用できる可能性を示しました。本技術は造影剤にアレルギーのある患者さんや腎機能が悪い患者さんにも使用することができ、被ばくの恐れもない点で非常に優れており、より優れたがん治療法の創出にもつながる画期的なものです。現在、プロジェクトマッピングの技術を用いて皮膚に貼付可能な血管地図シートを作成するプロジェクトが進行中で、シートを皮弁手術に応用する臨床試験を行っています。本研究成果とこの血管地図シートのプロジェクトを組み合わせることで、より安全で良質な手術方法の確立を目指しています。

4. 研究プロジェクトについて

本成果は、以下のプログラム・研究開発課題によって得られました。



内閣府 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)

URL : <http://www.jst.go.jp/impact/>

プログラム・マネージャー：八木 隆行

研究開発プログラム：イノベティブな可視化技術による新成長産業の創出

研究開発課題：血管イメージングの診断法開発

戸井 雅和 研究開発責任者：戸井 雅和（京都大学大学院医学研究科 教授）

研究期間：平成 26 年 10 月～平成 31 年 3 月

本研究開発課題では、光超音波 3D イメージング^{※3}を用いて臨床研究を実施し、血管網と血液状態（酸素飽和度）による診断法の開発、およびさまざまな疾病における臨床的有用性の検証に取り組んでいます。

■八木 隆行プログラム・マネージャーのコメント■

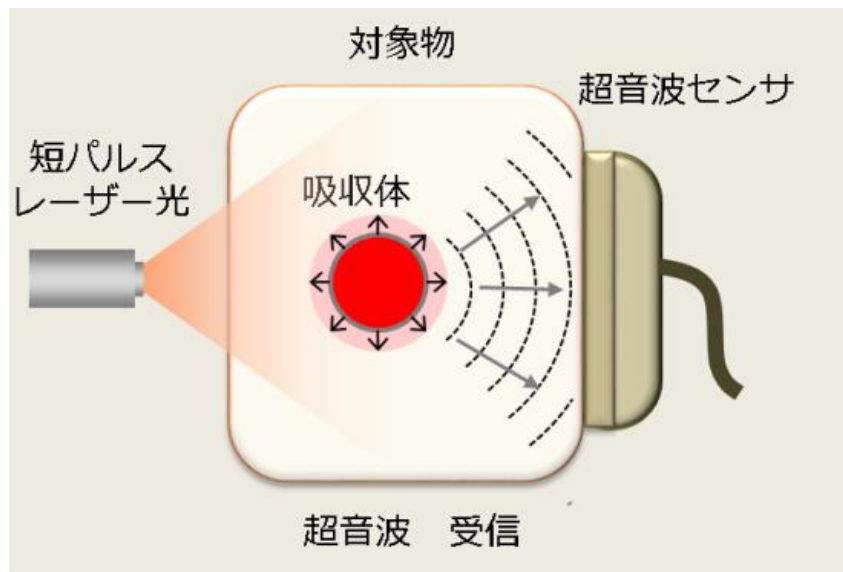


本プログラムでは、レーザー照射により発生する超音波を検出する光超音波法を高度化し、非侵襲で生体の血管網と血液状態（酸素飽和度）をリアルタイムに 3D イメージングする技術を開発し、早期診断や美容・健康に関わる身体機能モニタリングの実現を目指しています。さらに、工業材料中の劣化や亀裂などを可視化し、非破壊計測への展開を進めています。

今回、京都大学の戸井教授の研究グループは、光超音波 3D イメージング法を用いて、がんの切除後の皮弁移植治療を目的とする血管地図の作成法を開発しました。この方法により、光超音波 3D イメージングが、造影剤が不要で無被ばくな新しい血管撮影方法として、皮弁移植治療における術前評価法に有用であることが示されました。高精度な血管地図により、皮弁の採取範囲を事前に確認でき、移植手術のリスク低減につなげることができます。さらに、薄層皮弁術が実現できれば、がん治療患者の早期社会復帰に貢献できます。光超音波 3D イメージングを用いた、より安全で優れた手術法の確立が期待されます。

<用語解説>

(※1) 光超音波トモグラフィ：レーザー光を照射し、吸収体が光を吸収し、吸収体が熱膨張して発生する音波（光音響効果）を検出し、再構成技術を用いて吸収体の位置情報を取得する装置手法です。（下図）



(※2) 皮弁：移植する、血流のある組織や臓器を皮弁と言います。

(※3) 光超音波 3D イメージング：光超音波トモグラフィを用いた三次元画像化（イメージング）技術です。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Photoacoustic Tomography Shows the Branching Pattern of Anterolateral Thigh Perforators in Vivo

著者：Itaru Tsuge, Susumu Saito, Hiroyuki Sekiguchi, Aya Yoshikawa, Yoshiaki Matsumoto, Masakazu Toi, Shigehiko Suzuki

掲載誌：Plastic and Reconstructive Surgery