



## Detection of skin perforators by indocyanine green fluorescence nearly infrared angiography

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 浜松医科大学 公開日: 2010-10-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 東, 隆一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10271/1958">http://hdl.handle.net/10271/1958</a>

学位論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨

学位記番号	医博論第 4 6 7 号	学位授与年月日	平成 21 年 7 月 17 日
氏 名	東 隆 一		
論文題目	<p>Detection of skin perforators by indocyanine green fluorescence nearly infrared angiography            (インドシアニングリーン蛍光近赤外血管造影法を用いた皮膚穿通枝の検出)</p>		

博士(医学) 東 隆 一

## 論文題目

Detection of skin perforators by indocyanine green fluorescence nearly infrared angiography  
(インドシアニングリーン蛍光近赤外血管造影法を用いた皮膚穿通枝の検出)

## 論文の内容の要旨

### [はじめに]

皮膚軟部組織欠損の再建方法のひとつである穿通枝皮弁手術では、皮弁の栄養血管である皮膚穿通枝の位置をあらかじめ知っておくことが重要である。現在、皮下血管を検出する方法として CT 血管造影、MRI、超音波ドップラー、サーモグラフィなどが用いられているが、検査の精度、侵襲性の点から理想的と言える検査方法はない。今回、インドシアニングリーン(ICG) 蛍光血管造影法を用いて皮膚穿通枝を検出する方法を考案し、臨床手術例においてその有効性を検証した。

### [方法]

皮膚軟部組織欠損の再建が必要な 14 症例に対して、術前に蛍光血管造影を行った。再建部位の内訳は顔面 1 例、体幹 4 例、上肢 2 例、下肢 7 例である。用いた蛍光色素は ICG (25 mg / 5 ml; 第一三共株式会社)、蛍光を検知するために「赤外観察カメラシステム PDE」(浜松ホトニクス株式会社)を使用した。

検査対象部位が上腕動脈の末梢に位置する場合は上腕動脈に蛍光色素 1.0 ml を注射、大腿動脈の末梢である場合は大腿動脈に 1.5-2.0 ml を注射、その他顔面、体幹等を検査する場合は大腿静脈に 2.5-5.0 ml を注射した。注射後直ちに撮影を開始しビデオ記録を行った。ビデオを解析し得られた血管情報をもとに皮弁のデザインを行った。この研究は防衛医科大学校倫理委員会の承認を経て行われた。

### [結果]

14 症例全てにおいてそれぞれ 2-6 本の穿通枝が検知された。

手術中所見として、全症例で蛍光血管造影の所見に一致して、深筋膜上または深筋膜下の穿通枝の存在が肉眼的に確認された。確認された穿通枝のうち 1-2 本を栄養血管とする島状皮弁が挙上され、皮弁に良好な血流が保たれていることが確認された。全症例において術後皮弁は生着した。

### [考察]

血漿タンパクと結合した ICG の蛍光特性は、吸収波長のピークが 805 nm、蛍光波長のピークが 835 nm である。800 nm 付近の近赤外領域の光は、可視光との比較において、水やヘモグロビンいずれにも吸収されにくく、組織による散乱を受けにくいとため生体の深部観察に優れており、生体の光学的観察窓とも言われている。今回の検証では体表から深さ約 2 cm までの血管を描出することができたが、この深さは深部動脈から立ち上がってきた皮膚穿通枝がおおよそ深筋膜に入る深さであり、術前穿通枝検索に最適であると考えられる。これよりも浅いと穿通枝走行の十分な観察は困難であり、逆に、これより深い血管が同時に描出されると皮膚血流に直接関係しない深部動脈や筋枝との区別が困難となり、ドップラー聴診器による検索でしばしば認められるような偽陽性が生じ

る可能性がある。

蛍光血管造影の画質に関して、もっとも重要な要素は動脈像とバックグラウンドの間のコントラストである。今回の結果では、動注投与が静注投与に比してコントラストの高い映像が得られる傾向にあった。これは、前者においては、色素が目的とする穿通枝に流入するとき、血管内色素濃度の立ち上がりが急峻であることに起因すると推定される。また投与経路の違いに加えて、検査部位固有の性質も映像の鮮明度に影響する。鮮明な動脈像を得られるのは、検査部位の血流量が多い、皮下脂肪が薄い、皮膚表面の凹凸が少ない場合である。一方、皮膚に創や炎症等による紅斑があると、この部は強い蛍光を発し、より深部に存在する穿通枝の描出する上で妨げとなる。

ICG 蛍光血管造影法で得られる映像は、CT 血管造影や超音波ドップラーと異なり、皮膚の血流支配を皮膚表面から 2 次元的に把握することが出来るため、映像情報をそのまま皮弁のデザインに活かすことが出来る。検査手技としての欠点は、穿通枝を描出できる時期の短さにある。穿通枝の動脈相が観察されるのは ICG 注射後数秒間のみであるため、必要とされる穿通枝の存在する場所をあらかじめ推定し、そこにしばって検索しなければならない。しかし、今回検証したいずれの部位でも、穿通枝皮弁を挙上するために必要な情報が得られた。穿通枝皮弁手術に先だって本法により皮膚穿通枝を同定しておくことは、手術の安全性・確実性を高めるために有用と思われる。

#### [結論]

ICG 蛍光血管造影によって、穿通枝の位置や走行の向き、分枝の形態などの情報が得られた。本法は、皮下動脈像を低侵襲で明瞭に得ることができるため皮弁術前検査として有用である。

### 論文審査の結果の要旨

皮膚軟部組織欠損の再建方法のひとつである穿通枝皮弁手術では、皮弁の栄養血管である皮膚穿通枝の位置をあらかじめ知っておくことが安全で確実な手術のために重要である。現在、皮膚穿通枝を同定する方法としてドプラ聴診器、CT 血管造影、超音波ドプラ断層法、サーモグラフィなどが用いられているが、一長一短がある。申請者はインドシアニングリーン (ICG) 蛍光血管造影法を用いて皮膚穿通枝を検出する方法を考案し、臨床例においてその有効性を検証した。可視光あるいは赤外光の波長領域においては、生体組織中のヘモグロビンと水による光吸収が大きい、700 nm～1,000 nm の近赤外光領域では両者の吸収が比較的弱くなっているため、生体組織に対して光学的な窓となっている。すなわちこの波長域の光はほかの波長域の光と比べて、比較的良く生体を浸透する。ICG の蛍光波長のピークは 840 nm 前後である。

皮膚軟部組織欠損の再建が必要な 14 症例を対象とした。再建部位の内訳は顔面 1 例、体幹 4 例、上肢 2 例、下肢 7 例である。研究の前半は浜松ホトニクス社製赤外観察カメラシステム (PDE) 内蔵の LED 光源を、後半は特製の LED 光源を用いて照射し、PDE で ICG の蛍光を経時的に画像化した。検査対象部位が上腕動脈の末梢に位置する場合は上腕動脈に ICG 5 mg/1 ml を注射、大腿動脈の末梢である場合は大腿動脈に 7.5 mg/1.5 ml～10 mg/2 ml を注射、その他顔面、体幹等を検査する場合は大腿静脈に 12.5 mg/2.5 ml～25 mg/5 ml を注射した。皮弁を予定している部分に対し、注射後直ちに撮影を開始しビデオで記録した。穿通枝は、直接的には放射状に広がる蛍光の中心、間接的には数カ所の蛍光出現部位の中央として同定した。こうして得られた穿通枝

の情報をもとに皮弁のデザインを行った。この研究は防衛医科大学校倫理委員会の承認を経て行われた。

14 症例全てにおいてそれぞれ 2～6 本の穿通枝が直接的あるいは間接的に同定された。全症例で蛍光血管造影の所見に一致して、深筋膜上および脂肪組織内の穿通枝の存在が肉眼的に確認された。また穿通枝が支配する皮膚領域の同定も可能であった。確認された穿通枝のうち 1～2 本を栄養血管とする島状皮弁が挙上され、皮弁に良好な血流が保たれていることが確認された。全症例において皮弁は生着した。

ICG 蛍光血管造影法では体表から深さ約 2 cm までの血管を描出することができるが、この深さは深部動脈から立ち上がってきた皮膚穿通枝がおおよそ深筋膜に入る深さであり、穿通枝を検索するのに最適である。穿通枝の動脈相が観察されるのは ICG 注射後数秒間のみであるため、1 秒間 60 フレームの高い時間分解能で画像を記録し何度も観察することにより、穿通枝の同定に成功している。さらに ICG 蛍光血管造影法では、血管の走行、血流の向き、皮膚の血管支配域を皮膚表面から 2 次元的に把握することが出来るため、映像情報をそのまま皮弁のデザインに活かすことができる。また変異のある血管走行にも対処できるため既知の血管解剖にとらわれないテーラーメイド医療に活用しうる可能性を有する。

申請者が開発した ICG 蛍光血管造影は穿通枝皮弁手術に先だって穿通枝の位置や走行の向き、分枝の形態などの情報を低侵襲で明瞭に得ることができ、穿通枝皮弁手術のための優れた術前検査法であると、審査委員会で高く評価した。

審査の過程において、審査委員会は次のような質問を行った。

- 1) LED 光源の大きさと蛍光画像の関係はどうか
- 2) 体表面の形状と検出精度の関係はどうか
- 3) 蛍光の明るさと血流量に相関があるか
- 4) 皮弁の大きさはどのように決定するのか
- 5) ICG の再投与は可能か
- 6) 皮弁の生着率は本法を用いることによりどの程度上がったのか
- 7) 皮膚が薄い場合、穿通枝が筋膜を貫く部位を確実に描出できるか
- 8) 本法が広く普及しないのはなぜか
- 9) 血圧、皮膚温で血管の描出程度が変わるか
- 10) 偽陰性はあったか
- 11) 手技にどのぐらいの時間がかかるか
- 12) ICG 以外の蛍光物質の可能性はどうか
- 13) ICG に副作用はないのか
- 14) 画像をさらに鮮明にできる可能性はあるか

これらの質問に対し申請者の解答は適切であり、問題点も十分理解しており、博士(医学)の学位論文にふさわしいと審査員全員一致で評価した。

論文審査担当者	主査	阪原 晴海		
	副査	峯田 周幸	副査	深水 秀一