

## 熱冠動脈造影法によるACバイパス手術における 手術効果の無侵襲real time評価

今西 薫 藤正 巖\* 中沢 秀夫\*\* 井街 宏\*\*\*

**要 旨**：熱冠動脈造影法(Thermal Coronary Angiography; TCA)は冠動脈を熱的な画像として表現する方法である。今回われわれは、TCAシステムを用いてCoronary Artery Bypass Grafting(CABG)術中の冠動脈、グラフト、吻合部末梢の血流状態および心筋活性度を無侵襲に計測しCABGの有効性の評価を行うことを目的とした。CABG症例2例を対象とした。結果は末梢側吻合後、グラフトを通してLAD領域に十分な血流が観測され、心筋表面温は開胸時(34-35°C)と比較して高い温度(36-37°C)を示し、心筋活性度の上昇を認めた。(J. Jpn. Coll. Angiol., 2004, 44: 75-79)

Key words: Coronary angiography, Thermal imaging, Coronary artery bypass grafting

### 結 言

現在、Coronary Artery Bypass Grafting(CABG)は広く臨床の場で行われている。CABGの手術効果の評価する方法として、術中では超音波血流計によるグラフト血流計測、経食道超音波断層画像による心機能評価、手術用超音波プローブによるグラフト血流計測等が一般的に行われている。しかしバイパスグラフトの末梢への血流計測を術中経時的に無侵襲に施行する手段はいまだ存在しない。熱冠動脈造影法(Thermal Coronary Angiography; TCA)は冠動脈を熱的な計測により画像として表現する方法である。さらにTCAシステムは冠動脈末梢血流という形態画像と心筋活性度としての機能画像の両者を表現することが可能である。そこで今回われわれは、新たに開発したTCAシステムを用いて、1)CABG術中の冠動脈およびグラフト、吻合部末梢の血流状態の評価、2)心筋の活性度(Viability)を無侵襲に計測し術中にreal timeでCABGの有効性の評価を行うことを目的とした。

### 対象と方法

#### 1. TCAシステムの構造

TCAシステムは(A)熱画像撮影装置(Thermal Vision

S270)、(B)可視画像撮影装置、(C)画像融合装置、(D)遠隔制御記憶装置からなる。Thermal Vision S270の規格は温度分解能0.1°C以下、温度計測範囲0-50°C、波長帯域3-5 mm、有効画素数250,000画素、フィールドタイム30-60 frame/sec、撮影距離0.8 m以上とした。(B)は熱画像と同一視野を可視画像で撮影し遠隔操作可能な超小型ビデオカメラを使用した。(C)、(D)について熱画像は機能画像であり、解剖学的画像である可視画像と融合することで遠隔操作制御装置により同一画面に表示した(Figs. 1, 2)。

#### 2. 対象

TCAシステムをCABG症例10例全例に使用したが、今回特に良好な画像が得られた狭心症患者2症例を対象とした。冠動脈造影上、症例1は左主幹部(LMT)に50%の狭窄を認め、症例2は前下行枝(LAD)に100%、左回旋枝(LCx)に90%、右冠動脈(RCA)に90%の狭窄を認めたため、症例1には大伏在静脈(Saphenus Vein Graft; SVG)を、症例2には内胸動脈(LIMA)をグラフトとして使用した。なお患者には術中無侵襲撮影装置としてのTCAシステム使用に関するInformed Consentを得た。

#### 3. 方法

TCAシステムによる術中の撮影は以下のごとく行った。

マツダ(株)マツダ病院心臓血管外科

\* 政策研究大学院大学

\*\* アイシンコスモス研究所

\*\*\* 東京大学大学院医用生体工学

2002年12月27日受付 2004年2月5日受理

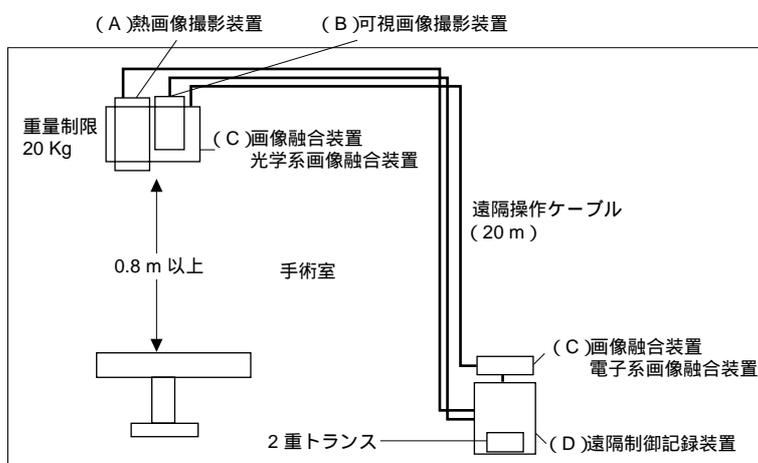


Figure 1 System configuration of the TCA system.



- A) FIR Camera
- B) Video Camera
- C) Digital Video Mixer
- D) Image Fusion System
- E) Remote Controller



Figure 2 The TCA system was composed of a far-infrared camera (FIR camera), a video camera and a digital video mixer.

a) 撮影方法

血管描写力に優れたモノクローム画像を使用する。  
手術室の室温は19°Cに維持した。冠動脈，およびグラフト吻合部末梢等の撮影は30-37°Cの撮影温度域で行った。

b) 撮影ポイント

TCAシステムを使用して1)開胸時，2)体外循環開始直後，3)心筋保護液による心停止後，4)末梢側吻合後，5)体外循環離脱直前，6)閉胸前，にグラフトおよび吻合部末梢冠動脈を撮影し，吻合部および末梢の血流を評価するとともに，心筋温(心筋活性度)を体外循環前後で比較した。比較にあたっては，評価には血管

描写力に優れたモノクローム画像を使用した。

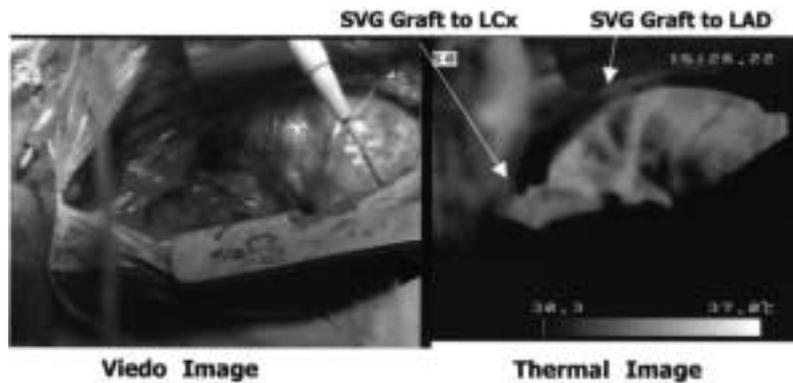
結 果

症例 1

SVGを使用した症例1は，開胸体外循環開始前(撮影温度域；30-37°C)ではLADの虚血領域で，冠状動脈の分布の描出は不良であった。体外循環開始後(撮影温度域；25-32°C)，心筋表面温度は虚血領域で特に低下(28-29°C)した一方，冠状動脈温は34-35°Cに維持された。心筋保護液による心筋局所冷却中(撮影温度域；20-27°C)は撮影温度外で一般的な温度分布を示した。SVGによるLAD末梢側吻合直後(撮影温度域；30-37°C)



**Figure 3** Blood flow pattern of coronary artery and saphenus vein graft during CABG. An ordinal video image is on the upper and a thermal image is on the lower panel.



**Figure 4** Blood flow pattern of coronary artery and saphenus vein graft during CABG. An ordinal video image is on the left and a thermal image is on the right panel.

に約 4°Cの心筋保護液をグラフトに注入すると、グラフトを通して末梢のLAD還流領域に心筋保護液が広範囲に還流する熱画像が得られ、グラフト吻合の有効性を示した (Fig. 3 左)。また中枢側吻合後、大動脈遮断解除後、復温過程 (撮影温度域; 30-37°C) では送血温 37°Cで、グラフトを通してLAD末梢領域に十分な血流が観測された (Fig. 3 右)。同症例の心筋活性度についてもSVG吻合部末梢area (左心室前壁) では、閉胸直前は開胸時と比較して高い温度域 (36-37°C) を示し、体外循環前 (30-31°C) と比較して心筋活性度の上昇を認めた (Fig. 4)。

#### 症例 2

LIMAを使用した症例 2 でもLIMAをLADに吻合直後よりLAD末梢、左心室前壁の温度は36-37°Cを示した

(Fig. 5)。LAD領域の心筋活性度についても症例 1 と同様の熱画像が体外循環開始直後 (30-31°C) に対して (Fig. 6A)、LIMA吻合後体外循環停止後ではLAD領域の心筋活性度は36-37°Cの温度域を示し、CABG前後でのLAD領域の心筋活性度の上昇を認めた (Fig. 6B)。

## 考 察

熱冠動脈造影法は藤正<sup>1,2)</sup>らにより開発された熱的な計測により冠動脈を画像として表現する手法である。ACバイパス術 (CABG) において、冠動脈や吻合後のグラフトの血流を評価する方法として、現在、臨床使用可能な手法としては冠動脈造影、超音波血流計による血流計測等があるが、いずれも上記検査を行うには手術操作の中止あるいは造影剤使用による患者への負担が必要となる。そこで非侵襲的に手術操作を中

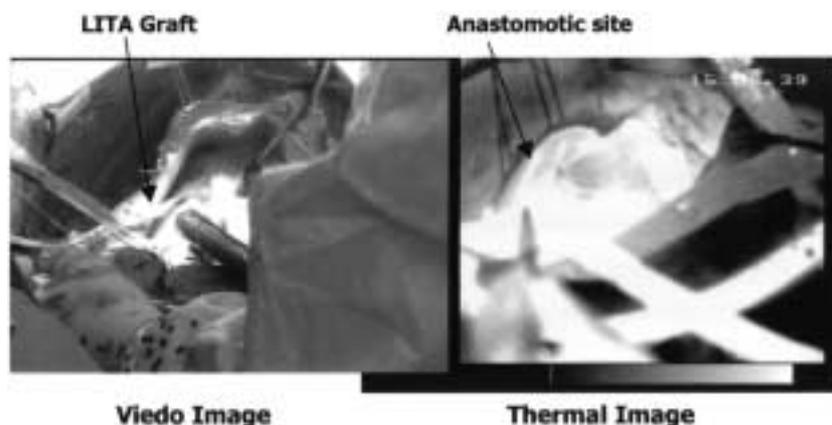


Figure 5 Blood flow pattern of coronary artery and internal mammary artery graft during CABG. On the left is an ordinal video image; on the right is a thermal image.

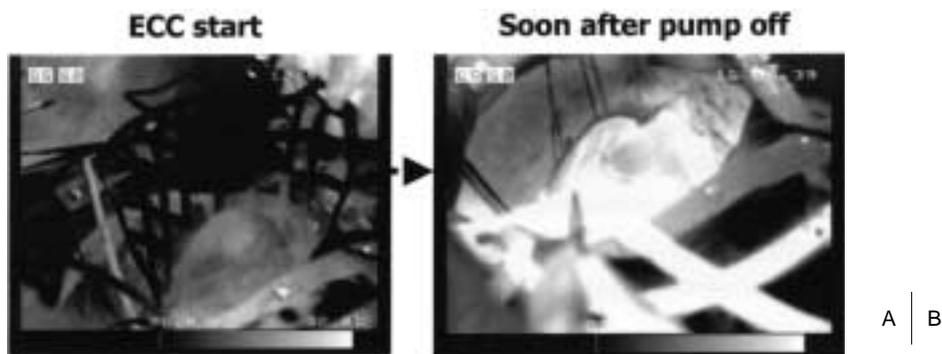


Figure 6 Calculation of myocardial activity in the LAD area during CABG using IMA. Tracing of thermal imaging in the LAD area shows a increase of myocardial activity by means of myocardial surface temperature.

止することなく、CABGの効果をreal timeに評価する方法が望まれている。

今回われわれの検討では、高温(約34-35°C)の動脈血と心筋表面温の温度差をTCAシステムを用いて演算することにより解剖学的画像である冠動脈血流画像の描出と機能画像である心筋表面温度による間接的心筋活性度の描出が可能であった。藤正ら<sup>1)</sup>は心筋表面温を心筋活性の間接的表現として、心筋活性度と定義し体外循環前後での心筋温の差を検討、評価した。今回上記手法を用いて2手術症例で検討した結果、いずれの症例もグラフトを通してLAD領域にグラフト血流が還流する像が認められ、TCAシステムによりCABGの有効性を無侵襲、客観的に評価することが可能であった。またLAD領域の心筋温も開胸時と比較して上昇し、心

筋活性度の上昇が認められ、この結果からもCABGの有効性が間接的に評価された。上記の結果は、TCAシステムがCABGの手術効果を無侵襲、real timeに冠動脈血流、心筋温の2面から評価可能であることを示した。

以上、TCAシステムにより観測可能な項目として1)開胸心膜切開後冠動脈血流、2)CABG施行前、心筋表面温による心筋活性度、3)体外循環開始後の心筋活性度、4)心筋保護状況の監視、5)CABG末梢側吻合直後グラフト血流、および末梢側血流、6)CABG後、心筋表面温度上昇率による心筋活性度評価が考えられる。こうしたCABGの手術効果を多角的に機能評価可能な装置システムは他に存在しない。また、多面的な術中評価を無侵襲、連続的に施行可能な手法、装置は

TCAシステムの独壇場と考える。今後さらにTCAシステムをもちいてCABG術中機能評価方法を確立するために、吻合部狭窄の有無、回旋枝、右冠動脈領域の評価も可能とすべく評価方法の検討を行っていく予定である。

### 結 論

TCAシステムは心血管系手術、特にCABG術中、冠状動脈およびグラフト、吻合部末梢の血流評価および、心筋の活性度 (Viability) を術中、無侵襲、real timeに評価することが可能であった。

今後、TCAシステムをCABG症例だけでなく心臓血管外科領域の手術効果の術中無侵襲、real time評価に応用していく方針である。

### 文 献

- 1 Fujimasa I, Nakazawa H, Kawada S: A Newly Developed Thermal Coronary Angiography System. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Chicago 2000, July 23-28, 2000 at Chicago's Navy Pier Track 01 Oral.
- 2 藤正 巖, 中沢秀夫, 川田志明: 熱冠動脈造影法の開発研究. 第17回日本サーモロジー学会大会, 2000, 6, 16.

## Intraoperative Evaluation of Effectiveness of Coronary Artery Bypass Grafting by Thermal Coronary Angiography (TCA)

Kaoru Imanishi, Iwao Fujimasa\*, Hideo Nakazawa\*\*, and Kou Imachi\*\*\*

Department of Cardiovascular Surgery, MAZDA Hospital, Hiroshima, Japan

\*National Graduate Institute for Policy Studies, Tokyo, Japan

\*\*Aishin Cosmos Laboratory, Co., Ltd, Tokyo, Japan

\*\*\*Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, Japan

**Key words:** Coronary angiography, Thermal imaging, Coronary artery bypass grafting

We have developed a practical system utilizing thermal imaging called Thermal Coronary Angiography (TCA). It can be easily installed in an operating room. The TCA device consists of a thermal camera (Thermal Vision S270), a handy video camera, and a control unit. Both coronary blood flow and myocardial activities during CABG can be measured by TCA. Two cases underwent TCA during CABG with cardiopulmonary bypass. All patients with SVG-LAD and LITA-LAD anastomosis demonstrated increases in distal blood flow compared with that of pre-anastomosis. In addition, they exhibited increases in myocardial activities after anastomosis with the thermal range of 36-37°C compared with that of pre-anastomosis (34-35°C). The TCA device proved to be satisfactory for coronary distribution and myocardial activities during CABG. (J. Jpn. Coll. Angiol., 2004, **44**: 75-79)