

造影, 非造影 X線 CT による大動脈-冠動脈バイパスグラフトの評価

Assessment of coronary artery bypass grafts by X-ray computed tomography with and without contrast enhancement

田宮 栄治
伊藤 敦彦
絹川弘一郎
羽田 勝征

Eiji TAMIYA
Nobuhiko ITO
Koichiro KINUGAWA
Yoshiyuki HADA

Summary

To assess the patency of coronary artery bypass grafts, we tested the capability of X-ray computed tomography (CT) with and without contrast enhancement. This procedure was used on 63 grafts (30 in the LAD; 20 in the LCX; 13 in the RCA) in 32 patients with a mean age of 56 ± 8 years, all of whom were referred to our department for postoperative management or evaluation. The CT scanner used was Toshiba TCT-60A with a scan time of 3 sec, 5 mm thick slices, and 512×512 pixels. CT scans without contrast enhancement were obtained from the level of the aortic arch to the left ventricle. Eight sec after 30 ml of contrast media was injected at a rate of 3 ml/sec into an antecubital vein, 5 scans were made at the same level of the pulmonary artery truncus. After positioning the regions of interests on the ascending aorta and grafts, we obtained time-density curves (TDCs) and compared the data with those recorded from an intraoperative electromagnetic flow meter (EMF).

Fifty grafts were angiographically patent. The appearance time, build-up time, peak time, peak appearance time and peak densities obtained from TDCs of grafts did not correlate with the flow volumes measured by EMF. Patent grafts were easily identified visually, without contrast enhancement (sensitivity; 88%, specificity; 100%, accuracy; 91%). Occluded grafts were not imaged on CT, either with or without contrast enhancement.

We concluded that the TDCs of grafts obtained by CT are of no value for predicting the graft flow, and that plain CT without contrast enhancement is sufficiently useful for assessing the patency of such grafts.

Key words

X-ray computed tomography

Contrast enhancement

Coronary artery bypass graft

はじめに

大動脈-冠動脈バイパス術 (coronary artery by-

pass grafting: CABG) が本邦に導入され¹⁾, 既に 20 年を経た. 多数の症例が蓄積された現在, グラフトを非侵襲的に評価することが重要である.

JR 東京総合病院 循環器内科
東京都渋谷区代々木 2-1-3 (〒151)

Department of Cardiology, JR Tokyo General Hospital, Yoyogi 2-1-3, Shibuya-ku, Tokyo 151

Received for publication June 26, 1991; accepted December 4, 1991 (Ref. No. E-91-4)

選択的グラフト造影以外でグラフトを観察する方法として, X線 computed tomography (CT)²⁻⁴, 静注による digital subtraction angiography (DSA)⁵, magnetic resonance imaging (MRI)⁶, パルス・ドップラー法⁷などが報告されているが, 種々の問題点が指摘されている。

今回, 造影 X線 CT により得られるグラフト内の時間-濃度曲線 (time-density curve) によりグラフト流量を推定することが可能か否かを検討した。また, 非造影 X線 CT によりグラフト開存の評価も合わせて行なった。

対象と方法

1. 対象

1986年9月より1990年3月までに術後の管理と評価のため当科を受診, あるいは当科に紹介された CABG 患者のうち, 手術時データの得られた32例(男28例, 女4例, 平均年齢 56 ± 8 歳)を対象とした。グラフトは63本で, 内訳は左前下行枝(LAD)グラフト30本, 左回旋枝(LCX)グラフト20本, 右冠動脈(RCA)グラフト13本であり, すべて大伏在静脈グラフトである。手術よりX線CTまでの期間は 4.9 ± 2.6 ヵ月であり, 18例については術後 11.5 ± 6.2 ヵ月に再び行なった。

2. 方法

X線CTは東芝製 TCT-60A (スキャン時間3秒, スキャン間隔2秒)を用いた。まず胸部X線写真(正面)を撮影し, 大動脈弓下縁より左室上部まで5mmごとの水平断面において非造影X線CTを行なった。造影X線CTによる検討は, 肺動脈分岐部レベルの1スライスにおいて, 造影剤(Iohexol 350)を肘静脈に自動注入器を用いて注入(3ml/秒, 計30ml)して行なった。撮影は造影剤注入開始後8秒より5回連続スキャン(dynamic CT)とした(Fig. 1)。

撮影後, 上行大動脈とグラフトに直径5mmの関心領域を設定し, 時間-濃度曲線を求めた。この際, 上行大動脈の関心領域は上大静脈内の造影

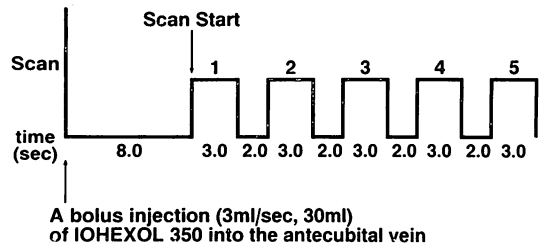


Fig. 1. A sequence of scans.

X-ray computed transmission tomographic scanner (Toshiba TCT-60A) was programmed in 3 sec. Five consecutive over-scans with a 2-sec interscan interval were performed during injection of a bolus of Iohexol of 30 ml into the antecubital vein.

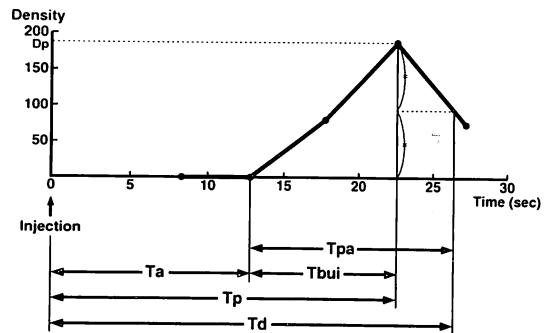


Fig. 2. Time-density curve.

After all contrast density versus time data analysis of the ascending aorta and the coronary bypass graft were analyzed at a single tomographic level of the pulmonary artery, appearance time (Ta), peak time (Tp), disappearance time (Td), passing time (Tpa), build-up time (Tbui) and peak densities (Dp) were obtained.

剤によるアーチファクトの影響が少ない部位とした。得られた時間-濃度曲線より, Fig. 2 に示したごとく, 造影剤注入開始後より出現するまでの時間 (appearance time: Ta), 最高濃度 (peak densities: Dp) に到達するまでの時間 (peak time: Tp), Dp が半分減少するまでの時間 (disappearance time: Td), 出現から最高濃度までの時間 (build-up time: Tbui), 出現から Td までの時間 (passing time: Tpa) を求め, これら時間-濃度曲線の各パラメーターと, 術中の電磁流量計に

よるグラフト流量の実測値との相関を検討した。さらに出現時間が上行大動脈とグラフトで一致した群とグラフトの方が遅れた群に分け、また最高濃度に到達するまでの時間が上行大動脈とグラフトで一致した群とグラフトの方が遅れた群に分け、術中の電磁流量計によるグラフト流量に有意差があるか否かを検討した。また、X 線 CT と同時期(術後 7.6 ± 4.5 ヶ月)に大動脈造影(DSA)と選択的グラフト造影も行ない、グラフトの開存性や狭窄を確認した。なお、術中のグラフト流量の測定はグールド製電磁流量計を用いて閉胸直前に行なった。また非造影 X 線 CT でグラフトが検出されなかった症例では、合わせて心エコー図検査を行ない、心嚢液貯留との関連を検討した。

結 果

選択的グラフト造影により、グラフト 63 本中 50 本の開存と 13 本の閉塞が認められた。開存したグラフトの内訳は LAD グラフト 23 本、LCX グラフト 16 本、RCA グラフト 11 本であり、閉塞したグラフトの内訳は、LAD グラフト 7 本、LCX グラフト 4 本、RCA グラフト 2 本であった。また開存したグラフトの近位および遠位吻合部には、75% 以上の狭窄は認められなかった。

非造影 X 線 CT による検討では、Table 1 に示したごとく、開存した 50 本のグラフトのうち、44 本が大動脈の近位吻合部直下の肺動脈分岐部レベルのスライスにおいて容易に観察され、肺動脈と区別可能であった。6 本のグラフトは開存にもかかわらず観察されなかった。これら 6 本はすべて LCX グラフトであった。一方、閉塞したグラフト 13 本はすべてのスライスにおいて認められなかった。したがって、非造影 X 線 CT によるグラフトの開存性の診断は、sensitivity 88%, specificity 100%, positive predictive value 100%, negative predictive value 68%, accuracy 91% であった。

Fig. 3 に非造影 X 線 CT の肺動脈分岐部レベルのスライスで観察される各グラフトの位置を示

Table 1. Prediction of the patency of coronary artery bypass grafts by X-ray computed tomography without contrast enhancement

	Patent grafts (n)	Occluded grafts (n)
Observed	44	0
Not observed	6	13
Total	50	13

Sensitivity: 88%, specificity: 100%, positive predictive value: 100%, negative predictive value: 68%, accuracy: 91%.

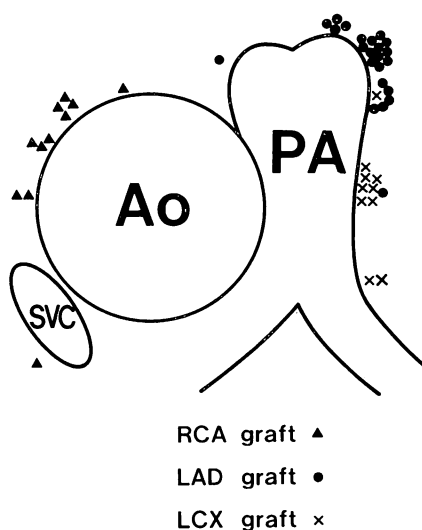


Fig. 3. Sites of grafts observed by X-ray computed tomography without contrast enhancement.

SVC=superior vena cava; Ao=aorta; PA=pulmonary artery; RCA=right coronary artery; LAD=left anterior descending artery; LCX=left circumflex artery.

したが、RCA, LAD, LCX の区別が可能であった。また非造影 X 線 CT で観察可能であった 44 本のグラフトの流量は 59.6 ± 30.5 ml/分で、観察不可能であった 19 本のグラフトの流量 (13.8 ± 26.9 ml/分) よりも有意に ($p < 0.01$) 大であった。なお、今回の検討の際はグラフトが開存し、非造

影 X 線 CT により観察されたが, その後の検討の際にはグラフトが閉塞し, 非造影 X 線 CT 上, 消失して観察されなくなったものが 2 例 (2 本) みられた。

造影 X 線 CT による検討では, 非造影 X 線 CT により観察されたグラフトはすべて造影された。開存しているにもかかわらず, 非造影 X 線 CT により認められなかった 6 本のグラフトのうち, 2 本が造影 X 線 CT により観察された。これらの例では肺静脈または術後の心嚢液によりグラフトがマスクされていた。したがって非造影 X 線 CT では検出できず, 造影 X 線 CT で検出可能であったグラフトは僅か 2 本であった。

グラフトの時間-濃度曲線による検討では, Ta は 13.6 ± 9.7 秒, Tp は 21.3 ± 11.3 秒, Td は 32.4 ± 12.9 秒, Tbu は 7.7 ± 3.1 秒, Tpa は 18.9 ± 5.3 秒, Dp は 157 ± 75 , グラフト内径は 5.1 ± 1.4 mm (mean \pm SD) であった。また術中の電磁流量計によるグラフト流量は 62.5 ± 30.6 ml/分であった。これら 7 種類の諸計測値と術中のグラフト流量とをそれぞれ比較検討したところ, すべて有意差は認められなかった。さらにグラフトと上行大動脈の時間-濃度曲線で Ta (Tp) が一致した群とグラフトの方が遅れた群とに分け, 術中流量を比較検討した (Fig. 4)。両者の Ta が一致したものは 36 本あり, グラフトの方が上行大動脈より遅れたものは 10 本あったが, 両者の流量に有意差は認められなかった。また, これら 10 本の選択的グラフト造影では, グラフトに狭窄は認められず, グラフトを吻合した冠動脈の run-off も良好であった。同様にグラフトと上行大動脈の Tp が一致したものは 25 本あり, グラフトの方が上行大動脈より遅れたものは 21 本みられたが, 両者の流量に有意差は認められなかった。また, これら 21 本の選択的グラフト造影にも, 異常は認められなかった。

したがって, 造影 X 線 CT (dynamic CT) の時間-濃度曲線により, グラフト流量やグラフトの狭窄の有無を評価することは困難であった。心

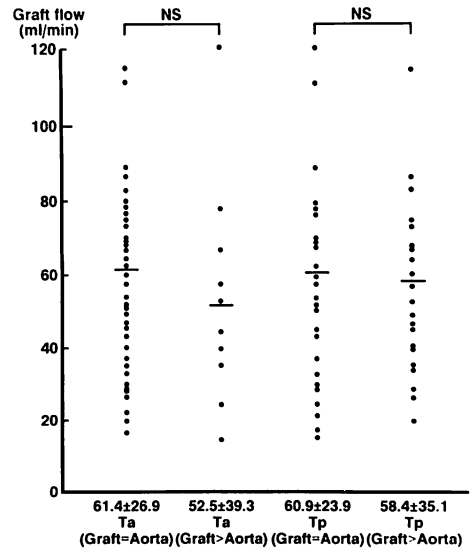


Fig. 4. Comparison of graft flow between group [Ta (Tp) graft=aorta] and group [Ta (Tp) graft>aorta].

Data are means \pm SD (standard deviations). There is no significant difference between either of the groups.

NS=not significant; Ta=appearance time; Tp=peak time.

嚢液貯留は X 線 CT と超音波検査にて 12 例に認められた。うちグラフトが心嚢液内にあった症例は 2 例 (2 本) であった。

実例呈示

Fig. 5A は CABG (RCA #3, LAD #7) を行なった 58 歳, 男性例の大動脈造影 (DSA) である。Fig. 5B に示した胸部 X 線写真の点線のレベルにおける非造影 X 線 CT を Fig. 5C に, 造影 (dynamic) X 線 CT を Fig. 5D に示したが, RCA, LAD グラフトはともに非造影 X 線 CT でも十分観察可能であった。

Fig. 6A は CABG (LAD #7, LCX #13) を行なった 59 歳, 男性例の肺動脈分岐部レベルにおける非造影 X 線 CT であり, Fig. 6B は造影 X 線 CT である。非造影時には, 術後の心嚢液貯留のため, 多少グラフトがマスクされているが観察可能であった。Figs. 6C, D は同一症例の同一レベルで, 7.5 ヶ月後の X 線 CT であるが, LCX

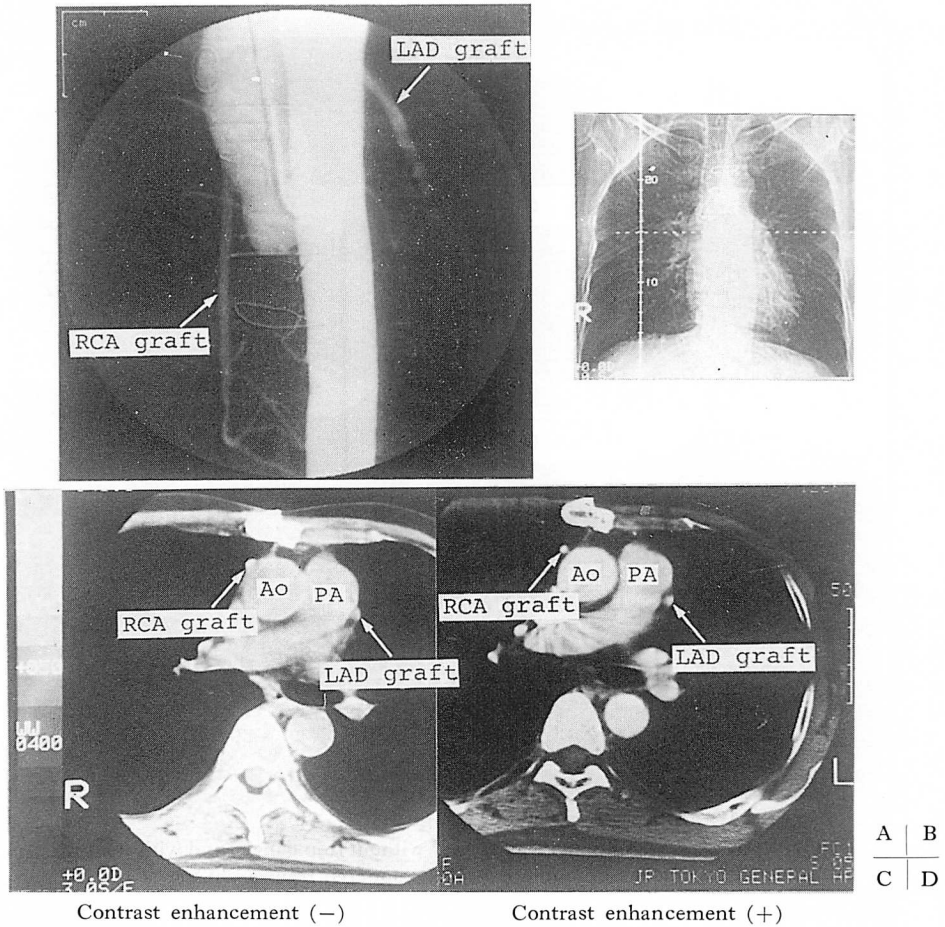


Fig. 5. Patent RCA and LAD grafts observed by X-ray computed tomography.

Panel A is standard digital aortogram. The LAD and the RCA grafts are observed. The dotted line in panel B indicates the level of X-ray computed tomograms. Panel C is the resulting X-ray computed tomogram without contrast media, and in panel D contrast media is used. The grafts can be viewed clearly even without contrast media.

Abbreviations are the same as in Fig. 3.

グラフトは閉塞しているため、非造影、造影時ともグラフトは観察不可能であった。一方、LADグラフトは開存しており、非造影 X 線 CT でも観察された。LAD グラフトと上行大動脈における時間-濃度曲線を Fig. 7 に示したが、同一症例、同一方法、同一レベル、同時期に造影 X 線 CT を行なったにもかかわらず、グラフトと上行大動脈の時間-濃度曲線は種々の波形を呈した。

考 按

従来、グラフトの開存性を非侵襲的に評価するために負荷心電図⁸⁾、心筋シンチグラフィ⁹⁾などが行なわれているが、それらは CABG 前後を比較することにより、間接的にグラフトの開存、閉塞を推定するものである。しかしグラフトが複数の場合はそれらが養う心筋の領域が重複することがあり、評価が難しいことが多い¹⁰⁾。

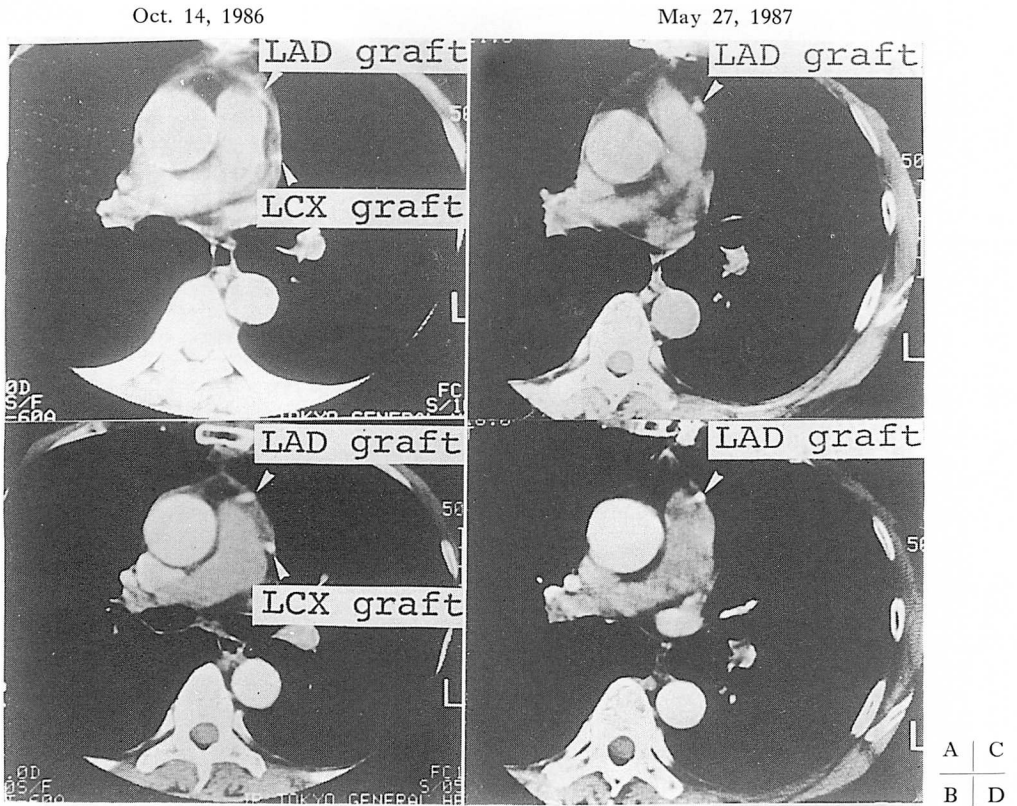


Fig. 6. Patent LAD graft and occluded LCX graft.

These panels show X-ray computed tomograms without (top panels) and with (bottom panels) contrast media from a patient with double grafts who suffered from occlusion of the LCX graft later. The LAD and LCX grafts can be seen in panels A and B, but the LCX graft disappeared from panels C and D 7.5 months later.

Abbreviations are the same as in Fig. 3.

グラフトを直接的かつ非侵襲的に評価する方法として、DSA⁵⁾、MRI⁶⁾、パルス・ドップラー法⁷⁾などが報告されている。DSA では大動脈基部に造影剤を注入する場合は優れた結果が得られる¹¹⁾ものの、侵襲的であり、静注による DSA では、グラフトを観察することは困難である¹²⁾。また MRI では閉塞グラフトに関して結論に達しておらず¹³⁾、パルス・ドップラー法も閉塞グラフトに関しては検出率が 56% と低い⁷⁾。

今回、非造影 X 線 CT の肺動脈分岐部レベルにおいて、肺動脈の左縁にグラフトの断面が認められれば左冠動脈バイパスグラフトは開存し、上

行大動脈の右縁にグラフトの断面が認められれば右冠動脈バイパスグラフトは開存していると診断したが、元来、これらの部位には血管が存在しないため、グラフトを肺動静脈や冠動脈と誤認せず、容易に同定できるものと思われる。さらに Fig. 3 に示したように、このレベルでは特に LAD グラフトと LCX グラフトが離れて位置するため、各グラフトの同定も可能である。非造影 X 線 CT によるグラフト開存の診断の accuracy は 91% と高く、また、非造影 X 線 CT では検出できず、造影 X 線 CT にて検出されたグラフトは僅か 2 本であったことより、グラフトの開存

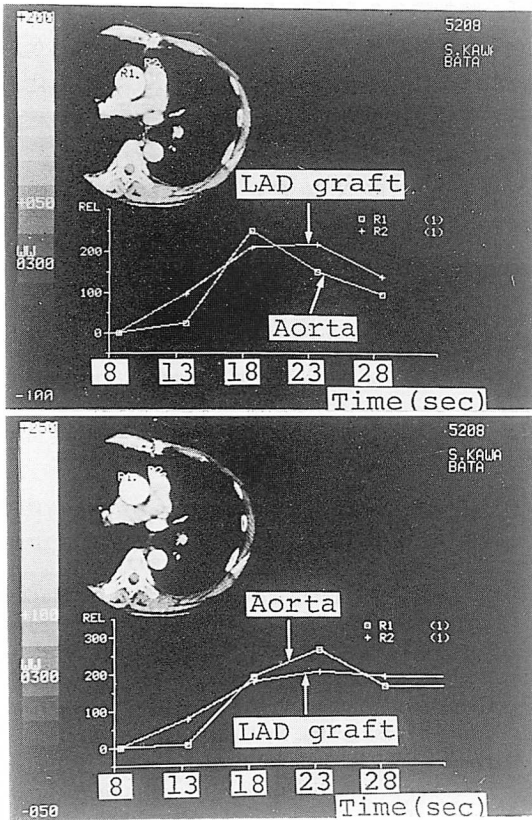


Fig. 7. The fluctuations of time-density curves obtained repeatedly at the same level.

Various curves were obtained under the same conditions.

Abbreviations are the same as in Fig. 3.

の診断は非造影 X 線 CT で十分であり、心嚢液の多い症例でのみ、造影 X 線 CT を行なうべきと考えられる。

一方、すべてのスライスにおいてグラフトの断面が認められなければ閉塞していると判断したが、閉塞したグラフトは断面が小となり、さらに心膜に癒着するため、空間分解能が 1mm の X 線 CT では観察できなくなるものと思われる。Atkinson らの CABG 後 12-168 ヶ月 (平均 62.7 ヶ月) の剖検による検討¹⁴⁾によれば、117 本の大伏在静脈グラフトのうち完全閉塞は 26 本あり、すべてに線維化が認められた。また Neitzel らによ

れば、初回の CABG 後 6-12 年 (平均 7.9 年) の再 CABG 症例または剖検での検討¹⁵⁾では、全グラフトの 64% に完全閉塞をみ、その全例で内膜、中膜、外膜の線維化が認められ、この線維化によりグラフトが細くなるとされている。Fig. 6 に示した症例で、LCX グラフトは当初、開存しており、非造影 X 線 CT にても観察し得たが、その後、閉塞して線維化を来し、グラフトが細くなり、7.5 ヶ月後には観察されなくなったものと考えられる。

Dynamic CT により得られるグラフトの時間-濃度曲線を用いて、グラフト流量を推定する試みは数多く行なわれている。Foster らの検討⁸⁾では、65 本のグラフトに対して dynamic CT を行ない、上行大動脈とグラフトの時間-濃度曲線を比較し、グラフトの Ta が上行大動脈の Ta よりも遅れる場合は近位のグラフト狭窄を示し、グラフト内の density が速やかに Dp の半分以下に減少しない場合は、末梢のグラフト狭窄か、またはグラフトを吻合した冠動脈の poor run-off を示すとしている。我々の検討では、上行大動脈とグラフトの Ta (Tp) が一致した群とグラフトの方が遅れた群とに分け、術中のグラフト流量を比較したところ、両者に有意差は認められず、グラフト狭窄も認められなかった。また時間-濃度曲線の各パラメーターはすべてグラフト流量と有意差を示さず、その再現性が乏しいことからすれば、時間-濃度曲線の有用性は低いものと考えられる。ただし、今回は術後 4.9±2.6 ヶ月に X 線 CT を行なったため、術中に測定した流量と異なる可能性があり、またスキャン時間が 3 秒の装置であり、時間分解能が低いということがこれらの結果にどの程度関与しているかは不明である。

X 線 CT の問題点として、狭窄部そのものは描出不可能であり、スキャンを行なった部位より遠位部または近位部のみが閉塞している症例では開存と診断される¹⁶⁾点などが挙げられる。しかし、血管造影は侵襲的であり、繰り返し行なえないため、非造影 X 線 CT によるグラフトの評価は CABG 術後の管理において、今後、有用性が

高まるものと考えられる。

結 語

造影 X 線 CT の時間-濃度曲線に基づいて, CABG の流量を推定することは困難である。CABG の開存, 閉塞の診断は, 非造影 X 線 CT にても十分可能と考えられる。

要 約

非造影 X 線 CT により CABG 開存性を評価し, また, 造影 X 線 CT により得られる CABG の時間-濃度曲線からグラフト流量の推定を試みた。

スキャン時間が 3 秒の X 線 CT (東芝製 TCT-60A) を用い, 5 mm ごとの水平断面で大動脈弓より左室上部まで非造影 X 線 CT を行ない, 肺動脈分岐部レベルの 1 断面において肘静脈に造影剤 (Iohexol 350, 3 ml/秒, 計 30 ml) を注入し, 注入開始 8 秒後より 5 回連続スキャンを行なった。撮影後, 上行大動脈と CABG に関心領域を設定し, 得られた時間-濃度曲線において出現時間, 最高濃度到達時間, 消失時間, 通過時間, 最高濃度を求め, 術中の電磁流量計による CABG 流量との比較検討を行なった。また X 線 CT と同時期に選択的グラフト造影も行なった。対象は 32 例 (男性 28 例, 平均年齢 56 ± 8 歳) で CABG は 63 本 (左前下行枝 30 本, 回旋枝 20 本, 右冠動脈 13 本) である。

選択的グラフト造影により, 63 本中 50 本の開存と 13 本の閉塞が認められた。CABG と上行大動脈の時間-濃度曲線において, 最高濃度到達時間が両者で一致した群と CABG の方が遅れた群とで, 術中の流量に有意差は認められなかった。同様に出現時間が両者で一致した群と CABG の方が遅れた群とに分けても術中の流量に有意差は認められなかった。また CABG における時間-濃度曲線の各パラメーターと術中の流量との間にも有意差は認められなかった。選択的グラフト造影により開存が認められた CABG 50 本中 44 本

は, 肺動脈レベルにおける非造影 X 線 CT によっても観察容易であったが, 6 本は観察されなかった。これらのうち, 4 本は造影 X 線 CT によっても認められなかった。閉塞グラフト 13 本はすべて非造影 X 線 CT で認められなかった。したがって非造影 X 線 CT による CABG の開存性の診断は sensitivity 88%, specificity 100%, accuracy 91% であった。

造影 X 線 CT の時間-濃度曲線に基づいて, CABG の流量を推定することは困難であった。また, CABG の開存, 閉塞の診断は非造影 X 線 CT にても可能と考えられた。

文 献

- 1) 瀬在幸安, 山崎 昭, 井上文正: 冠動脈の直接手術: 大腿動脈片による上行大動脈-冠動脈間 bypass 法の一治験例. 胸部外科 **23**: 888-897, 1970
- 2) 田宮栄治, 大城雅也, 坂本 敦, 浅野献一: Marker をつけない A-C bypass graft の dynamic CT. Jpn Circ J **53** (Suppl I): 57-58, 1989 (abstr)
- 3) Foster CJ, Sekiya T, Brownlee WC, Isherwood I: Computed tomographic assessment of coronary artery bypass grafts. Br Heart J **52**: 24-29, 1984
- 4) Daniel WG, Dohring W, Stender HS, Lichtlen PR: Value and limitations of computed tomography in assessing aortocoronary bypass graft patency. Circulation **67**: 983-987, 1983
- 5) 西村紀久夫, 後藤平明, 金子泰史, 合志秀一, 宮内好正: A-C バイパス術後における DSA の有用性について. 胸部外科 **39**: 705-708, 1986
- 6) 久保田真毅, 岡田昌義, 西脇正美, 太田稔明, 向原伸彦, 中村和夫, 吉田 裕: MRI-CT を用いた A-C bypass 術後の graft 開存性の評価. Jpn Circ J **52** (Suppl I): 103, 1988 (abstr)
- 7) Diebold B, Theroux P: Non-invasive assessment of aortocoronary bypass graft patency using pulsed Doppler echocardiography. Am J Cardiol **43**: 10-15, 1979
- 8) Nitter-Hauge S: Exercise ECG in evaluation of aortocoronary bypass surgery: Report of 66 patients. Eur J Cardiol **9**: 191-198, 1979
- 9) Kolibash AD, Call TD, Bush CA, Tetelman MR, Lewis RP: Myocardial perfusion as an indicator of graft patency after coronary artery bypass surgery. Circulation **61**: 882-887, 1980
- 10) Higginbotham MB, Belkin RN, Morris KG, Coleman RE, Cobb FR: Value and limitation of biplane rest and exercise radionuclide angiography

- for assessing individual bypass grafts: A prospective study. *J Am Coll Cardiol* **7**: 1004-1009, 1986
- 11) 田宮栄治, 羽田勝征, 浅野献一, 飯尾正宏: Digital subtraction angiography の時間-濃度曲線による大動脈-冠動脈バイパスグラフト流量の推定. *呼吸と循環* **39**: 57-62, 1991
 - 12) Whiting JS, Nivatpumin T, Pfaff M, Vas R, Drury K, Diamond G, Swan HJC, Forrester JS: Assessing the coronary circulation by digital angiography: Bypass graft and myocardial perfusion imaging. *in* *Digital Imaging in Cardiovascular Radiology* (ed by Heintzen PH, Brennecke R). Thieme-Stratton, 1983, pp 205-210
 - 13) Holmvang G, Edelman R, Dinsmore R, Thompson RC, Miller SW, Brady TJ, Kantor KL: Coronary bypass graft patency by NMR. *Circulation* **74** (Suppl II): 42, 1986 (abstr)
 - 14) Atkinson J, Forman M, Vaughn W, Robinowitz M, McAllister H, Virmani R: Morphologic changes in long-term saphenous vein bypass grafts. *Chest* **88**: 341-348, 1985
 - 15) Neitzel G, Barboriak J, Pintar K, Qureshi I: Atherosclerosis in aortocoronary bypass grafts: Morphologic study and risk factor analysis 6 to 12 years after surgery. *Arteriosclerosis* **6**: 594-599, 1986
 - 16) Brundage B, Lipton M, Berfkens R: Detection of patent coronary artery bypass grafts by computed tomography. *Circulation* **61**: 826-831, 1980