

三次元血管内エコー法によるプラーク容積の測定：モデル実験による検討

Measurement of Plaque Volume Using Three-Dimensional Intravascular Ultrasound : In Vitro Study

中里 勝
吉田 清
穂積 健之
宗像 源之
赤阪 隆史
高木 力
加地修一郎
川元 隆弘
盛岡 茂文
吉川 純一*

Masaru NAKAZATO, MD
Kiyoshi YOSHIDA, MD, FJCC
Takeshi HOZUMI, MD
Motoyuki MUNAKATA, MD
Takashi AKASAKA, MD, FJCC
Tsutomu TAKAGI, MD
Shuichiro KAJI, MD
Takahiro KAWAMOTO, MD
Shigefumi MORIOKA, MD, FJCC
Junichi YOSHIKAWA, MD, FJCC*

Abstract

The usefulness of three-dimensional echocardiography using intravascular ultrasound (3D-IVUS) for the measurement of plaque volume was evaluated by comparing plaque volume derived from 3D-IVUS with that directly measured in 10 autopsied iliac or femoral plaque models (5-15 mm long).

Using IVUS (3.5 F, 30 MHz), sequential cross-sectional images for three-dimensional datasets were acquired with a motorized catheter pullback device connected to the three-dimensional reconstruction system. Three-dimensional reconstruction was performed from the sum of the two-dimensional cross-sectional views. Plaque volumes were calculated using a summation of disks algorithm based on the reconstructed multiple short-axis cross-sections from the three-dimensional data.

Three-dimensional IVUS demonstrated a good correlation with direct measurement of plaque volume ($y=0.71x+0.001$, $r=0.80$, $SEE=0.003$ ml), so is useful for the measurement of plaque volumes in the experimental models.

J Cardiol 1997; 30 (5): 227-230

Key Words

Echocardiography, Intravascular ultrasound/Doppler, Atherosclerosis

はじめに

冠動脈壁を直接的に観察出来る血管内エコー法 (intravascular ultrasound : IVUS) が臨床的に応用され、冠動脈プラークの形態・性状などが心周期を通して観察出来るようになった。しかし、病変部の立体構造や空間的な広がり把握するためには、各部位で得られた断層像より、検者自身が頭の中で三次元的 (three-

dimensional : 3D) に画像を再構築する必要がある。更にプラーク容積の計測には、多数の断面像が必要である。

近年、超音波装置からのビデオ信号を用い、コンピュータ処理による三次元画像構築が可能となった¹⁾。この方法により、再構築された三次元画像データから任意の断層像を得ることが出来、左室容量の計測が可能であることも報告されている²⁾。このことか

神戸市立中央市民病院 循環器センター内科：〒650 神戸市中央区港島中町 4-6; *大阪市立大学医学部 第一内科, 大阪 Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Kobe; *The First Department of Internal Medicine, Osaka City University Medical School, Osaka
Address for reprints : YOSHIDA K, MD, FJCC, Division of Cardiology, Kobe General Hospital, Minatojima-nakamachi 4-6, Chuo-ku, Kobe 650
Manuscript received June 19, 1997; accepted September 1, 1997

ら、プラークの多断面の短軸断面像を作成し、それらを総和することにより、プラーク容積の測定も可能と考えられる。

今回の研究目的は、プラーク容積の測定における三次元血管内エコー法(3D-IVUS)の有用性について、実験モデルを用いて検討することにある。

材料および方法

1. 動脈硬化モデルの作製

内径 3 mm, 長径 30 mm のポリエチレン性チューブの中に、剖検により得られた外腸骨または大腿動脈のプラークを内膜ごと切除し、挿入して作製した。

プラークの形態としては、同心性ないし偏心性狭窄、病変長も短いものから長いもの(約 5–15 mm)まで、10 種類のモデルを作製した。

2. 方法

1) プラーク容積の測定

プラークを挿入していない同形のチューブの質量(A)を測定した。次いで、内腔を水で満たしたチューブの質量(B)、同様に動脈硬化モデルの質量(C)、更に動脈硬化モデルの内腔を水で満たしたものの質量(D)を測定した。それぞれの差(B–A および D–C)の差(B–A–D+C)を計算することにより、間接的にプラークの容積を求めた(水の比重を 1 とする)。

2) 血管内エコー法

装置は、CVIS 製血管内エコー装置と同製血管内エコー探触子(外径 3.5 F, 発振周波数 30 MHz)を用いた。

3) 血管内エコー像の解析

三次元画像再構築システムには Tomtec 製エコーシステム装置を用いた。血管内エコー探触子をプラークの遠位端に合わせ、auto-pullback system を使用し、0.1 mm 間隔で引き抜き、各部位での短軸像をプラークの近位端まで描出・収集し、三次元画像データを構築した。次いで、再構築した三次元データから、コンピューター処理によって、0.5 mm 間隔の実験モデル短軸像を、プラークの近位端から遠位端まで描出した。各短軸断面像のプラーク部を的手法によりトレースし、0.5 mm 高のディスク体積を算出、各ディスクの体積総和として、プラーク容積を求めた(Fig. 1)。

両法で求めた計測値の統計学的解析には回帰直線解

析を用いた。

結 果

3D-IVUS における各サンプルの三次元画像の再構築処理に要する時間は 5 分以内であった(Fig. 2)。実験モデルにおいて、間接的に計測したプラークの容積は、0.008–0.037 ml であった。また、%プラークエリア(血管断面積に対するプラークの最大部の面積の割合)は 16–94% であった。

本法により求めたプラーク容積は 0.010–0.037 ml であり、このプラーク容積と実際のプラーク容積との間には、良好な相関が認められた($y=0.71x+0.001$, $r=0.80$, $SEE=0.003$ ml; Fig. 3)。

考 察

IVUS はプラークの形態・性状の把握において、臨床的に有用な方法である^{3,4)}。更に、血管造影法により検出されない早期の動脈硬化病変も、IVUS によれば観察可能である。しかしながら、血管およびその構成物は三次元構造を有するため、IVUS においても、1 断面像のみでは立体的構築や容量評価は出来ない。それに対して、IVUS により得られた情報をコンピューター処理し、三次元に再構築すれば、プラークや血管内腔容積の計測も可能と考えられる。そこで我々は、プラーク容積の測定における 3D-IVUS の有用性について、実験モデルを用いて検討を行った。

今回の検討では、3D-IVUS から求められたプラーク容積と実際のプラーク容積との間には、良好な相関が認められた。血管内腔容積の定量的評価について、ヒト冠動脈を用いて 3D-IVUS により検討した研究⁵⁾、プラーク容積の定量的評価について、ファントムにて 3D-IVUS で検討した研究⁶⁾でも、定量的評価の手段として、3D-IVUS の有用性を認めている。この結果は、今後臨床例において、3D-IVUS によるプラーク容積計測が正確である可能性を示唆するものである。動脈硬化の進展・消退などの研究、あるいは冠動脈に対するカテーテル治療の評価において、プラークあるいは血管容積の正確な計測が重要であることを考えると、3D-IVUS は、今後、临床上重要な役割を担うことになると考えられる。

今回の我々の検討では、3D-IVUS を用いたプラーク容積の計測では、実際より過小評価をする傾向にあっ

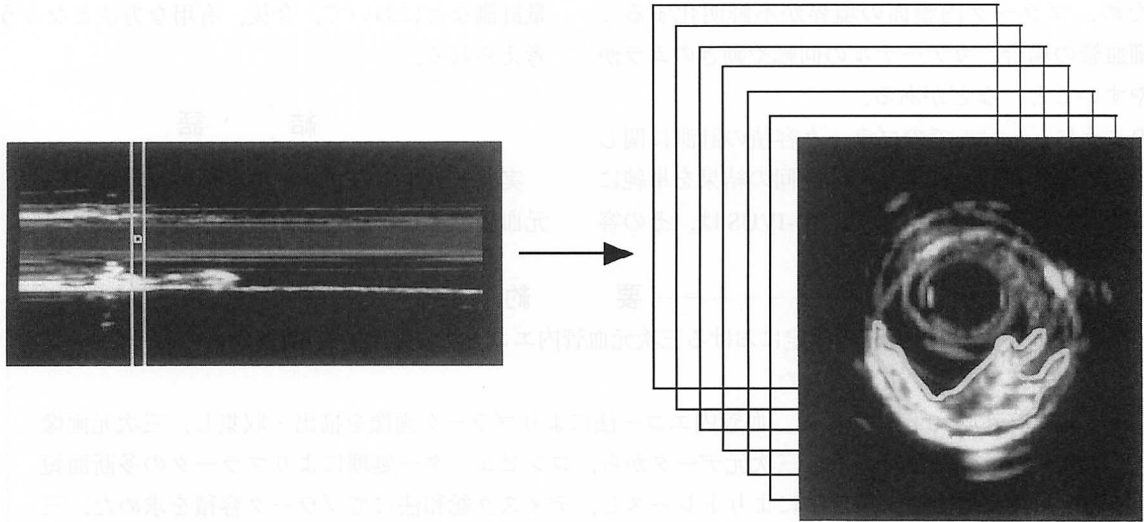


Fig. 1 Plaque architecture and the reconstructed image

Left : Longitudinal architecture of the plaque of the reconstructed segment is clearly seen.

Right : Reconstructed short-axis view at the site of a plaque is shown. Multiple short-axis views were summed to calculate the plaque volume.

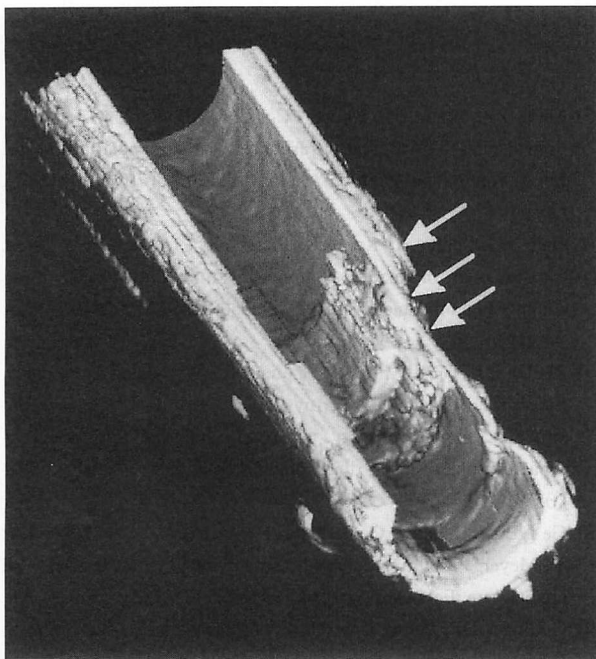


Fig. 2 Example of a three-dimensional image of a plaque in the experimental model

The three-dimensional image shows eccentric distribution of the plaque (arrows).

た. この要因として, 1) 0.5 mm 間隔の短軸像の総和としてプラーク容積を求めたため, プラークの両端が計測されていない可能性があること, 2) この実験モデルのプラークのように形状の不規則性 (irregularity) が強い場合, 画像処理上, 細かな不規則性がカットされ

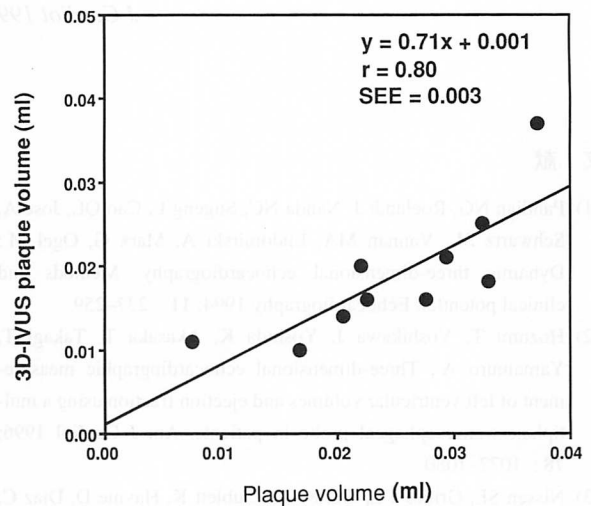


Fig. 3 Linear regression analysis comparing plaque volume measured by three-dimensional intravascular ultrasound (3D-IVUS) and direct measurement

SEE = standard errors of the estimate.

ること, などが考えられる.

更に, 3D-IVUS によるプラーク容積の計測を臨床例 (*in vivo*) に適用する場合, 以下のような問題点が存在する⁷⁻⁹⁾. 実際の血管は必ずしも直線ではなく, 屈曲したり, 実際の生体内の冠動脈および動脈硬化性プラークは, 心周期に伴う血管内圧の変化により, その形態が常に変化しているため, 計測の際の正確性に欠ける可能性がある. 血管側の要因としては, 病変部の石灰

化のため、プラーク内膜面の境界が不鮮明化すること、細血管の場合、カテーテルの回転や動きのムラが生じやすいこと、などがある。

このように、*in vivo*でのプラーク容積の計測に関しては種々の因子が複雑に関与し、今回の結果を単純に当てはめるわけにはいかないが、3D-IVUSは、その容

量計測などにおいて、今後、有用な方法となりうると考えられる。

結 語

実験モデルでのプラーク容積の測定において、三次元血管内エコー法の有用性が示された。

要 約

血管内プラーク容積の測定における三次元血管内エコー法の臨床的有用性について、プラーク実験モデルを用いて検討した。

実験モデル10例について、血管内エコー法によりプラーク画像を描出・収集し、三次元画像データの再構築を行った。三次元データから、コンピューター処理によりプラークの多断面短軸断面像を描出し、用手法によりトレースし、ディスク総和法にてプラーク容積を求めた。三次元血管内エコー法から求められたプラーク容積と実際のプラーク容積との間には、良好な相関が認められた($y=0.71x+0.001$, $r=0.80$, $SEE=0.003$ ml)。

以上より、実験モデルを用いたプラーク容積の測定において、三次元血管内エコー法は有用であると考えられた。

J Cardiol 1997; 30 (5): 227-230

文 献

- 1) Pandian NG, Roelandt J, Nanda NC, Sugeng L, Cao QL, Jose A, Schwartz SL, Vannan MA, Ludomirski A, Marx G, Ogel M: Dynamic three-dimensional echocardiography: Methods and clinical potential. *Echocardiography* 1994; **11**: 237-259
- 2) Hozumi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Takagi T, Yamamuro A: Three-dimensional echocardiographic measurement of left ventricular volumes and ejection fraction using a multiplane transesophageal probe in patients. *Am J Cardiol* 1996; **78**: 1077-1080
- 3) Nissen SE, Grines CL, Gurley JC, Sublett K, Haynie D, Diaz C, Booth DC, DeMaria AN: Application of a new phased array ultrasound imaging catheter in the assessment of vascular dimensions: A comparison to cineangiography. *Circulation* 1990; **81**: 660-666
- 4) Nishimura RA, Edwards WD, Warnes CA, Reeder GS, Holmes DR, Tajik AJ, Yock PG: Intravascular ultrasound imaging: *In vitro* validation and pathologic correlation. *J Am Coll Cardiol* 1990; **16**: 145-154
- 5) Matar FA, Mintz GS, Douek PC, Leon MB, Pompa JJ: Three-dimensional intravascular ultrasound: A new standard for vessel lumen volume measurement? *J Am Coll Cardiol* 1992; **19**: 382A (abstr)
- 6) Galli FC, Sudhir K, Kao AK, Fitzgerald PJ, Yock PG: Direct measurement of plaque volume by three-dimensional ultrasound: Potential and pitfalls. *J Am Coll Cardiol* 1992; **19**: 115A (abstr)
- 7) Roelandt JRTC, di Mario C, Pandian NG, Wenguan L, Keane D, Slager CJ, de Feyter PJ, Serruys PW: Three-dimensional reconstruction of intracoronary ultrasound images: Rationale, approach, problems, and directions. *Circulation* 1994; **90**: 1044-1055
- 8) Ge J, Erbel R, Gorge G, Gerber T, Brennecke R, Seidel I, Reichert T, Meyer J: Intravascular ultrasound imaging of arterial wall architecture. *Echocardiography* 1992; **9**: 475-483
- 9) Gutfinger DE, Leung CY, Hiro T, Maheswaran B, Nakamura S, Detrano R, Kang X, Tang W, Tobis JM: *In vitro* atherosclerotic plaque and calcium quantitation by intravascular ultrasound and electron-beam computed tomography. *Am Heart J* 1996; **131**: 899-906