

超音波断層法による頸動脈プラークの 評価と検者間信頼度

東京医科大学老年病学教室

岩本俊彦 榎本睦郎 岡田豊博
木内章裕 馬原孝彦 高崎 優

【要旨】 頸動脈における隆起性病変 (P) について「形状」と「輝度」に基づく超音波断層評価法の検者間信頼度を知る目的で、無作為に選んだ P45 個を 3 名の判定医で評価し、その成績より検者間の的中率 π 、一致係数 κ および McNemar 検定統計量 M を算出した。P は内膜-中膜複合体が 2.1 mm 以上の隆起性病変と定義し、「形状」(P の高さ a, 広がり b) より mural ($b \geq 3a$) と nodular ($b < 3a$)、「輝度」より視覚的に hard (hyperechoic), soft (hypoechoic), これらの混在する mixed とした。その結果、

1) 「形状」による評価では 45 個中 37 個は全員が一致 ($\pi = 0.5$) し、各判定医間の κ (0.687-0.982) も高く、M でも有意な相違はみられなかった。

2) 「輝度」による評価では全員一致が 45 個中 18 個 ($\pi = 0.1$) に過ぎず、 κ (0.191-0.496) も低かった。また M より soft と mixed との識別は時に困難であることが示された。

以上の成績より、「形状」による P の評価は「輝度」より優れ、検者間での比較に耐えうる評価方法と考えられた。

はじめに

頭蓋外の頸動脈にみられるアテローム硬化性病変は、近年、本邦でも増加していることが指摘されている¹⁾。この病変は脳血管障害の原因ともなり得ることから、その早期発見は脳血管障害の予防の点で臨床的に重要である。この検出には現在、超音波診断装置が用いられ、頸動脈病変を非侵襲的かつ容易に検出する方法として、その有用性は既に確立されている²⁾。しかし超音波断層法で描出された隆起性の頸動脈病変は plaque と呼ばれているが、その評価方法は報告者によって多種多様であるばかりか^{3)~4)}、評価した結果が検者間で一致しないことも少なくない。その理由として、病変の検出技術に加え、描出された plaque の評価が検者の視覚に依存していることが挙げられる。そこで「形状」と「内部構造の輝度」といった二つの評価法で plaque を視覚的に評価した場合の検者信頼度から、各々の評価法の有用性を明白にする目的で、無作為に選んだ

plaque を 3 判定医で評価し、その成績を対比検討した。

対象と方法

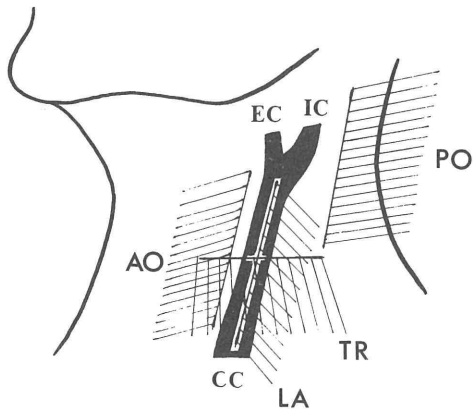
脳血栓症慢性期 98 例の頸動脈断層像の中から、無作為に 45 個の plaque を選び出し、その画像所見より臨床情報を伏せられた 3 名の判定医 (T.I., M.E., H.O.) で別々に評価した後、それらの成績を比較した。すなわち頸動脈病変の検出には 7.5 MHz B モード超音波断層像 (横河メデイカルシステム U-sonic RT4600) を用い、患者を仰臥位 (頸部を伸展位) として撮像した。頸動脈横断面として横断像を、縦断面として側面像、前斜側面像および後斜側面像をルーチンに撮像し (第 1 図)⁵⁾、各方向で内膜-中膜複合体が最も良く描出され、血管最大径の得られる動脈拡張期の断面を対象とした。実際には plaque の描出されている断面像を 45 枚、等倍に紙焼し、その画像を対象に用いた。

Plaque は内膜-中膜複合体が 2.1 mm 以上の隆起

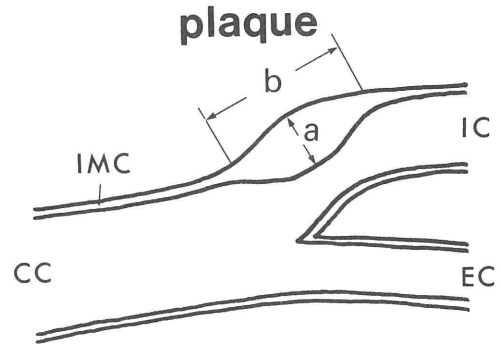
1995 年 3 月 27 日受付, 1995 年 4 月 10 日受理

キーワード: 超音波断層, 頸動脈プラーク, 検者間信頼度。

(別刷請求先: 〒160 東京都新宿区西新宿 6-7-1 東京医科大学老年病学教室 岩本俊彦)



第 1 図 超音波断層法における頸動脈の測定部位
プローブを 4 方向よりルーチンに当て、長軸断
では血管最大径を得る断面で撮像した。斜線：
指向性軸の方向、CC：common carotid、IC：
internal carotid、EC：external carotid、TR：
transverse view、LA：lateral view、AO：
anterior oblique view、PO：posterior oblique
view



第 2 図 plaque の定義と計測法

plaque は内膜-中膜複合体 (intima-media complex：IMC) の高さが 2.1 mm 以上の隆起性病変で、高さ a は山頂の高さを、長さ b は 2.1 mm 以上を示す裾野の広がりを表わす。CC：common carotid、IC：internal carotid、EC：external carotid

性病変と定義し、その「形状」および「plaque 内輝度の高低」の二つの方法で分類した。すなわち「形状」(第 2 図)は隆起を山とみなし、その山頂の高さ a と 2.1 mm 以上の IMC を示す裾野の広がり(長さ b) との比から、便宜上 $b \geq 3a$ のものを mural plaque, $b < 3a$ のものを nodular plaque と定義した³⁾。一方「plaque の輝度の高低」は視覚的に評価し、acoustic shadow を伴う hyperechoic なものを hard, 反対に hypoechoic なものを soft とし、これらの混在するものを mixed と定義した。これより対象の plaque が mural plaque か nodular plaque か、また hard plaque か、soft plaque あるいは mixed plaque かを 3 判定医が別々に判定した。なお同一断面に複数の plaque を認めた場合、高さ a の大きなものを評価対象とした。

3 判定医の評価結果を回収後、検者間の的中率 π , 一致率 P, 一致係数 κ および McNemar 検定統計量を算出し^{16)~18)}、各評価方法について有用性を検討した。的中率 π は 3 人の判定医が完全に一致した率から求められ、また一致率 P は 2 人の判定医間の一致した率で示された。さらに一致係数 κ は一致率 P より偶然に一致する確率で補正 (chance-corrected indexes) し^{16)~18)}、求められた一致係数 κ の同意の強度 0.81 以上で「ほぼ完全」、0.61-0.80 で「十分」、0.41-0.60 「中等度」とした¹⁷⁾。McNemar 検定統

計量は各カテゴリー別にみた 2 判定医間の相違を表わし、 $\chi^2(0.05) = 5.991$ より、これ以上を有意な相違ありとした¹⁶⁾。

成 績

1) mural plaque と nodular plaque の検者間信頼度 (第 1 表)：3 判定医全員が一致したものは 45 個中 37 個 (0.82) あり、的中率 π は 0.5 となった。各判定医間の一致率 P は 0.844 から 0.911 の間にあり、また一致係数 κ も 0.687 から 0.982 と高く、同意の強度も「十分」以上であった。McNemar 検定統計量でも有意な相違はみられなかった。

2) hard plaque, soft plaque および mixed plaque の検者間信頼度 (第 1 表)：3 判定医全員が一致したものは 45 個中 18 個 (0.40) あり、的中率 π は 0.1 となった。各判定医間の一致率 P は 0.489 から 0.667 の間にあり、一致係数 κ も 0.496 (H.O. vs. T.I.) を除いて 0.348 (T.I. vs. M.E.), 0.191 (M.E. vs. H.O.) と低かった。各判定医間の McNemar 検定統計量では、T.I. vs. M.E. において soft plaque ($\chi^2 = 9.600$) と mixed plaque ($\chi^2 = 6.750$) との間で有意な相違を認めた。

3) 3 判定医全員が一致した plaque 像の代表例 (第 3 図-a, b)：写真 A)~D) は mural & soft plaque, 写真 E)~G) は mural & hard plaque, 写真 H)

第 1 表-A, B 各判定医の評価結果と各判定医間の統計学的諸量

A. 各判定医の評価結果 (Plaque 数=45 個)

判定医	plaque		形状による分類		輝度による分類		
			mural	nodular	soft	mixed	hard
T.I.			23 個	22 個	12 個	15 個	18 個
M.E.			25 個	20 個	25 個	5 個	15 個
H.O.			25 個	20 個	16 個	9 個	20 個
全員一致数			22 個	15 個	8 個	2 個	8 個

B. Plaque の評価方法と統計学的諸量

mural P./nodular P.				soft P./mixed P./hard P.					
	T.I.	M.E.	H.O.		T.I.	M.E.	H.O.		
T.I.		0.687	0.982	一致係数 κ	T.I.		0.348	0.496	一致係数 κ
M.E.	0.844		0.731		M.E.	0.556		0.191	
H.O.	0.911	0.867			H.O.	0.667	0.489		
一致率 P					一致率 P				
的中率 π 0.5					的中率 π 0.1				
McNemar 検定統計量					McNemar 検定統計量				
T.I. vs M.E. $\chi^2=0.571$					T.I. vs M.E. $\chi^2=9.600^*, 6.750^*, 0.308$				
T.I. vs H.O. $\chi^2=0.250$					T.I. vs H.O. $\chi^2=0.900, 2.080, 0.125$				
M.E. vs H.O. $\chi^2=0.111$					M.E. vs H.O. $\chi^2=3.370, 0.900, 0.941$				
					*: $> \chi^2(0.05) = 5.991$				

B の上段各表の右上は一致係数 κ を, 左下は一致率 P を表わす。また中段は的中率 π を, 下段は McNemar 検定統計量を表わす。

～J) は nodular & hard plaque, 写真 K), L) は mural & mixed plaque と評価された。

4) 3 判定医が共に不一致だった plaque 像 (第 3 図-c): 写真 M) は plaque の基部がはっきりせず, 大きさも輝度も判定できない plaque と考えられた。写真 N) は plaque の辺縁, 特に裾野が不鮮明で, 輪郭の取り方によって, 大きさや輝度の評価が一定しなかったものと考えられた。

考 察

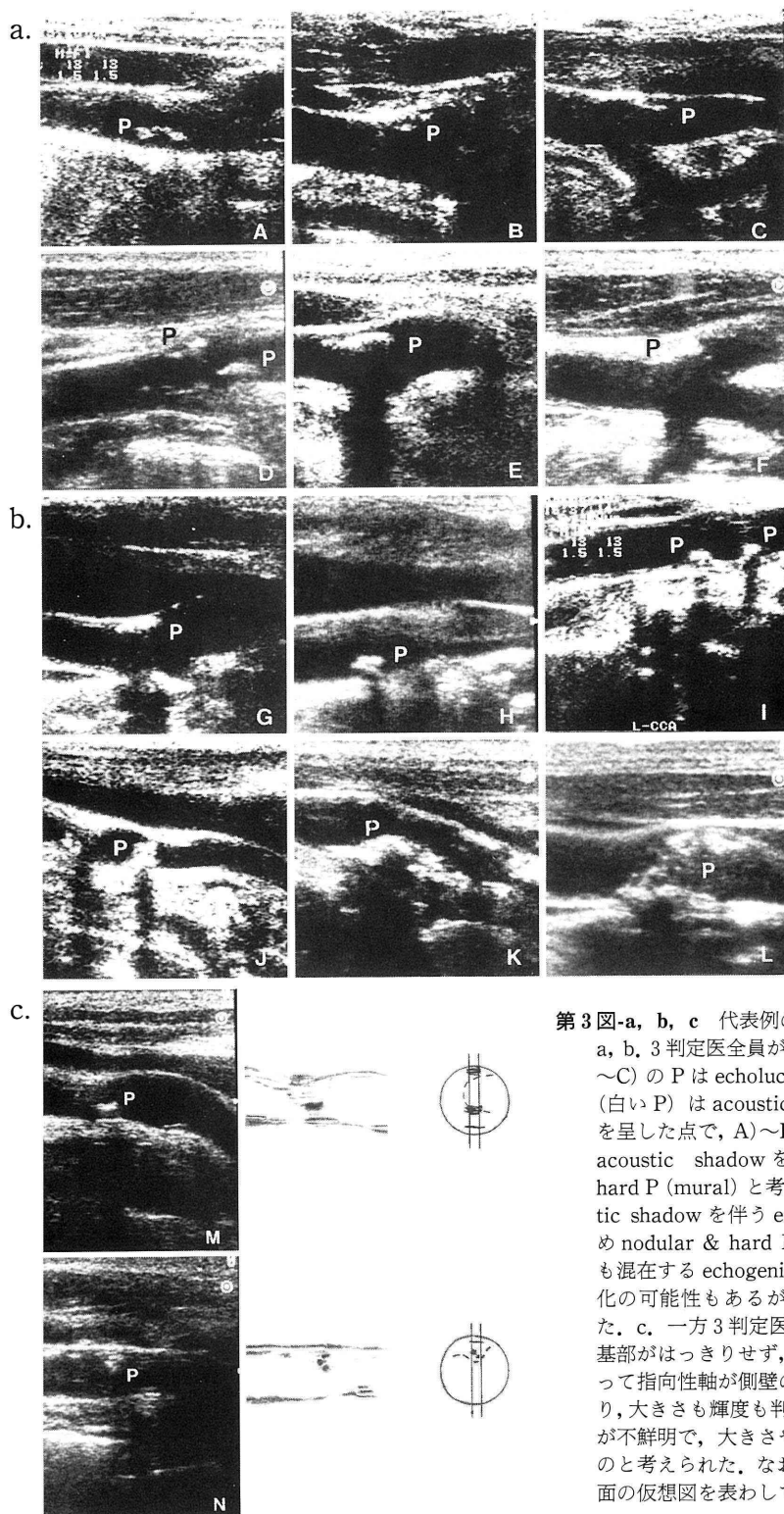
頭蓋外に生じた頸動脈病変は, 超音波診断装置により容易に検出され, 内膜剝皮標本の病理像, 術前の血管撮影所見との対比から, 超音波診断の検出感度, 精度は血管撮影より優れ, 各々 88%, 79% であったという²⁾。この診断性能に加え, 本装置は無侵襲性で, 反復検査も可能である点からも, 臨床的に極めて有用な検査法と考えられる。

しかしその評価方法としては plaque の性状に基づく方法^{3)~9)}の他, 描出された内膜-中膜複合体の厚みの平均値¹⁰⁾, 潰瘍の有無¹¹⁾, 血管内腔の狭窄度¹¹⁾¹²⁾

あるいは scoring system (plaque の厚みの和)¹³⁾¹⁴⁾ などの評価方法が用いられ, 一定していない。さらに plaque の性状も, 本研究で用いたごとく mural や nodular³⁾, hard⁴⁾, soft^{4)~6)} に加え, dense⁵⁾⁶⁾, echogenic⁷⁾, echolucent⁷⁾, calcified⁵⁾⁶⁾, heterogeneous^{6)~8)11)}, homogeneous⁸⁾¹¹⁾ などの表現が使われ, その定義も報告者により異なっている。分類上 plaque の多くは輝度の相違として捉えられ, それぞれの病理像や臨床的意義の異なることが示されている。ここで用いた hard は dense, calcified と, また soft は echolucent と同義語的な意味合いを持ち, さらに mixed は heterogeneous に相当すると考えられた。

Plaque が注目される理由のひとつは, 脳血管障害の原因としてばかりでなく, 内膜-中膜複合体の厚み¹⁰⁾, scoring system¹³⁾¹⁴⁾ の計測の繁雑さに対して, plaque が隆起性病変として一見して認識されることによる。

そこでまず, 内膜-中膜複合体が加齢とともに増高しても, 通常 2.0 mm を越えることは少ないことか



第 3 図-a, b, c 代表例の呈示 (P は plaque)

a, b, 3 判定医全員が一致した写真 A)~L) のうち A)~C) の P は echolucent な内部構造を示し, D) の P (白い P) は acoustic shadow を伴わない echodense を呈した点で, A)~D) は soft P (mural), E)~G) は acoustic shadow を伴う echodense を呈した点で hard P (mural) と考えられた. また H)~J) も acoustic shadow を伴う echodense を示したが, b < 3 a ため nodular & hard P とされた. K)~L) は P 内部にも混在する echogenicity を認め, 特に L) は全周性変化の可能性もあるが mural & mixed P と評価された. c. 一方 3 判定医が共に不一致だった M) は P の基部がはっきりせず, 仮想図のごとく全周性変化によって指向性軸が側壁の病変をかすめている可能性もあり, 大きさも輝度も判定できなかった. N) も P の辺縁が不鮮明で, 大きさや輝度の評価が一定しなかったものと考えられた. なお中列は P の模式図, 右列は横断面の仮想図を表わしている.

ら¹⁹⁾, 本研究では plaque を「内膜-中膜複合体が 2.1 mm 以上の隆起性病変」と定義した。次いで plaque をその「形状」と「内部構造の輝度」の観点から二通り, すなわち計測された高さとの長さの関係から mural と nodular (形状) に, また視覚的に hard, soft, mixed (内部構造の輝度) にそれぞれ評価した。

45 個の plaque について 3 判定医で盲検対比したところ, 「形状」からみた mural と nodular の的中率 π , 一致率 P および一致係数 κ はいずれも高かった。また 2 判定医間の McNemar 検定統計量でも有意差がみられず, これらの成績は mural と nodular の識別はしやすく, 判定医間で誤差が少ないことを示している。この理由は plaque の高さとの長さが容易に計測され, その比から簡便に判定されるためと考えられた。しかし不一致のものもあり, その原因のひとつとして plaque の輪郭が不鮮明であったことが挙げられる。すなわち plaque が hypoechogenic なほど, 血管腔との区別はしにくくなる。また plaque が hyperechogenic であっても超音波の指向性軸からはずれて撮像された場合, 第 3 図-cのごとく輪郭は不鮮明となる。この場合, 長さ, すなわち裾野の広がりとの計測のほうが高さの計測より困難なことが多いようである。また高さでも全周性に広がった病変の場合, 側壁の陰影が加わったり, 病巣が斜めに切れて, 真の高さより高く計測されてしまうこともありうる。この問題を解決するには, 必ずしも理想的な断面の病巣が描出されるとは限らない (実際に血管縦断面を 180 度撮影することは不可能) が適切な角度からの撮像が必要である。特に内頸動脈起始部を描出する後斜側面像 (第 1, 2 図) では超音波の入射角にかなりの制限があり, この点で, 横断像や頭位の変換による撮像が, 時に有用な解決策になると考えられた。

一方「内部構造の輝度」からみた hard, soft, mixed の的中率 π , 一致率 P, 一致係数 κ は共に低かった。特に McNemar 検定統計量より T.I. vs. M.E. において soft plaque と mixed plaque とに有意差を認めた所見は, これらの識別が難しいことを示している。その主な理由は, 「輝度」の判定が質的な判定であり, 判定医の視覚に依存していることが挙げられる。とりわけ「輝度」が混在する mixed plaque は, hyperechoic 部分の分布によっては soft plaque ともなり, また acoustic shadow の出方によっては hard plaque ともなる。さらに図-cのごとく, 指向

性軸のずれから plaque 内の断面が完全に得られていなければ, 側壁病巣からの artifact が入り, その所見に混乱が生じることになる。

以上から plaque を評価する際, 「形状」による評価のほうが一致係数 κ が高く, 「輝度」による評価より検者間信頼度は優れていた。したがって所見を比較する場合には, mural と nodular の評価が検者間での評価に耐えうる方法として勧められる。しかし「内部構造の輝度」は組織像を反映し, 石灰化, 線維化は hyperechogenicity を, plaque 内出血, 脂質沈着, 血栓形成は hypoechogenicity を示すとされ¹⁵⁾, その評価は臨床的に極めて重要である。特に plaque 内出血²⁰⁾ や血栓形成⁸⁾²¹⁾ は脳血管障害の発症に関与することから, 「輝度」による評価も個々の症例の診断, 経過観察には不可欠と思われる。この点「輝度」の客観的評価法として radiofrequency にもとづいた超音波法が考案され²²⁾, これは検者の主観から離れて plaque の構造を評価できる方法として, 今後臨床への応用が期待される。

文 献

- 1) Nagao T, Sadoshima S, Ibayashi S, Takeya Y, Fujishima M: Increase extracranial atherosclerosis carotid lesions in patients with brain ischemia in Japan. *Stroke* **25**: 766~770, 1994
- 2) Ricotta JJ, Bryan FA, Bond MG, Kurtz A, O'Leary DH, Raines JK, Berson AS, Clouse ME, Calderson-Ortiz M, Toole JF, DeWeese JA, Smulens SN, Gustafson NF: Multicenter validation study of real-time (B-mode) ultrasound, arteriography, and pathologic examination. *J Vasc Surg* **6**: 512~520, 1987
- 3) Weinberger, J, Robbins A: Neurologic symptoms associated with nonobstructive plaque at carotid bifurcation: Analysis by real-time B-mode ultrasonography. *Arch Neurol* **40**: 489~492, 1983
- 4) Hennerici M, Rautenberg W, Trockel U, Kladetzky RG: Spontaneous progression and regression of small carotid atheroma. *Lancet* **22**: 1415~1419, 1985
- 5) Johnson JM, Kennelly MM, Decesare D, Morgan S, Sparrow A: Natural history of asymptomatic carotid plaque. *Arch Surg* **120**: 1010~1012, 1985
- 6) Gomez CR: Carotid plaque morphology and risk for stroke. *Stroke* **21**: 148~151, 1990
- 7) Langsfeld M, Grey-Weale AC, Lusby RJ: The role of plaque morphology and diameter reduction in the development of new symptoms in

- asymptomatic carotid arteries. *J Vasc Surg* **9**: 548~557, 1989
- 8) Sterpetti AV, Schultz RD, Feldhaus RJ, Davenport KL, Richardson M, Farna C, Hunter WJ: Ultrasonographic features of carotid plaque and the risk of subsequent neurologic deficits. *Surgery* **104**: 652~660, 1988
 - 9) Reilly LM, Lusby RL, Hughes L, Ferrell LD, Stoney RJ, Ehrenfeld WK: Carotid plaque histology using realtime ultrasonography. *Am J Surg* **146**: 188~193, 1983
 - 10) Salonen R, Salonen JT: Progression of carotid atherosclerosis and its determinants: A population-based ultrasonography study. **81**: 33~40, 1990
 - 11) Taylor LMJr, Lobo L, Porter JM: The clinical course of carotid bifurcation stenosis as determined by duplex scanning. *J Vasc Surg* **8**: 255~261, 1988
 - 12) Brott T, Tomsick T, Feinberg W, Johnson C, Biller J, Broderick J, Kelly M, Frey J, Schwartz S, Blum C, Nelson JJ, Chambless L, Toole J: Baseline silent cerebral infarction in the asymptomatic carotid atherosclerosis study. *Stroke* **25**: 1122~1129, 1994
 - 13) Crouse JR, Harpold GH, Kahl FR, Toole JF, McKinney WM: Evaluation of a scoring system for extracranial carotid atherosclerosis extent with B-mode ultrasound. *Stroke* **17**: 270~275, 1986
 - 14) Handa N, Matsumoto M, Maeda H, Hougaku H, Ogawa S, Fukunaga R, Yoneda S, Kimura K, Kamada T: Ultrasonic evaluation of early carotid atherosclerosis. *Stroke* **21**: 1567~1572, 1990
 - 15) 半田伸夫, 松本昌泰, 鎌田武信, 木村和文: 動脈硬化症の診断のための検査法: 体外法 (頭蓋外頸動脈). *現代医療* **23**: 448~453, 1991
 - 16) 佐久間昭: Q15: 多分類の計数データの扱いは?. *医学統計 Q & A*. 95~101, 金原出版 (株) (東京) 1994
 - 17) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33**: 159~174, 1977
 - 18) Cicchetti DV, Feinstein AR: High agreement but low kappa: II. Resolving the paradoxes. *J Clin Epidemiol* **43**: 551~558, 1990
 - 19) Howard G, Sharrett AR, Heiss G, Evans GW, Chambless LE, Riley WA, Burke GL: Carotid artery intimal-medial thickness distribution in general populations as evaluated by B-mode ultrasound. *Stroke* **24**: 1297~1304, 1993
 - 20) Imparato AM, Riles TS, Mintzer R, Baumann FG: The importance of hemorrhage in the relationship between gross morphologic characteristics and cerebral symptoms in 376 carotid artery plaques. *Ann Surg* **197**: 195~203, 1983
 - 21) Weinberger, J, Ramos L, Ambrose JA, Fuster V: Morphologic and dynamic changes of atherosclerotic plaque at the carotid artery bifurcation: Sequential imaging by real time B-mode ultrasonography. *J Am Coll Cardiol* **12**: 1515~1521, 1988
 - 22) Urbani MP, Picano E, Parenti G, Mazzarisi A, Fiori L, Paterni M, Pelosi G, Landini L: *In vivo* radiofrequency-based ultrasonic tissue characterization of the atherosclerotic plaque. *Stroke* **24**: 1507~1512, 1993

Interrater Reliability for Clinical Diagnoses of Extracranial
Carotid Plaques using B-mode Ultrasonography

Toshihiko IWAMOTO, Mutsuo ENOMOTO, Toyohiro OKADA
Akihiro KIUCHI, Takahiko UMAHARA and Masaru TAKASAKI

Department of Geriatric Medicine, Tokyo Medical College

We evaluated the interrater reliability of clinical diagnoses of extracranial carotid plaque using B-mode ultrasonography. Plaque was defined as a thickened intima-media complex 2.1 mm or more in height and two modes of plaque classification were prepared in this study. The first classification was based on plaque configuration (the ratio of length to height of the plaque); mural plaque (≥ 3) and nodular plaque (< 3). Secondly, plaques were divided into three types according to echogenicity; soft plaque (hypoechoic), hard plaque with acoustic shadow (hyperechoic), and mixed plaque with hyper- and hypo-echogenicity. Selected randomly from patients with cerebral thrombosis, 45 plaques were assessed independently in blind fashion by 3 physicians. From these data, we calculated the interrater agreement for all two-way combinations of physicians with kappa statistics. According to the configuration and echogenicity, kappa statistics revealed a range from 0.687 (substantial agreement) to 0.982 (almost perfect) and a range from 0.191 (slight agreement) to 0.496 (moderate agreement), respectively. These findings suggested that assessment of plaque configuration had a good interrater reliability of clinical diagnoses of extracranial carotid plaque, although the echogenicity is considered to vary reflecting pathological changes of plaques.

<Key words> Ultrasonography, Carotid plaque, Interrater reliability.
