

血圧・脈波測定によって下肢動脈 CT における狭窄の有無が予測できるか

三味篤 坂下純司 森下毅 丑谷健次 角弘論
恵寿総合病院放射線課

【要旨】

当院では、血圧・脈波測定にて閉塞性動脈硬化症が疑わしい症例には下肢動脈造影 CT が施行される。CT 検査前にあらかじめ病変存在の予測をするために、血圧・脈波測定値と下肢動脈造影 CT の画像所見との関連について検討した。また下肢単純 CT から求められるカルシウムスコアと脈波伝播速度との相関性についても検討した。CT 画像所見から病変の有無によって足関節部・上腕血圧比がどのように変動するか、病変の部位で足関節部・上腕血圧比に影響はあるか、病変の狭窄率で脈波伝播速度に変動はあるかを検討した。その結果、病変の存在によって足関節部・上腕血圧比は有意に低下したが、病変の部位で足関節部・上腕血圧比の変化は認めなかった。病変の狭窄率が高くなると脈波伝播速度は上昇したが、閉塞に至ると脈波伝播速度は低値となった。以上の検討結果より血圧・脈波測定値は CT 施行前の目安となることが判明した。一方、カルシウムスコアは脈波伝播速度と相関を認めず、病変の有無の指標とはならなかった。

Key words : CT, ABI, PWV

【はじめに】

下肢血行障害の治療には薬物療法、バイパス手術と血管内治療が適応となる。最近では、手術より低侵襲性であることやデバイスの進歩にともなって血管内治療が盛んに行われるようになってきた。当院では、血圧脈波測定により閉塞性動脈硬化症 Arteriosclerosis Obliterans (以下 ASO と略す) が疑われる症例に下肢動脈造影 CT を施行するケースが増えてきている。

しかし、下肢動脈造影 CT は、しばしば造影不良となることがある。この原因としては、比較的大きなスキャン速度 (beam pitch) の撮影が可能で、短時間で撮影が完了するため、寝台移動速度が血流速度よりも早い場合においては、造影剤を追い越して造影不良となる。また、健常症例と比較し下肢に血管狭窄を有する症例では血流速度が遅いため、なおさら造影不良となる傾向が強い。さらに、有意狭窄が認められない症例でも、末梢血管の流入・流出が悪い場合、血流速度は低下する¹⁾。報告によると、血流速度は上大静脈から下行大動脈までが 14~32s、下行大動脈から膝窩動脈までが 14~40s と個々によりバリエーションが大きいとされている²⁾。個々の症例を予測できないまま画一的なスキャンをしてしまうと、個々の最適な撮影タイミングを逸し、造影不良や造影効果に寄与しない無駄な造影剤投与量の増大

など、マイナス因子が多くなる。この様な造影不良例を防止するために現在まで、test injection 法、下行大動脈・大腿動脈・膝窩動脈のうち各一点での one point region of interest bolus tracking 法、右心室と下行大動脈の二点での two point region of interest bolus tracking 法が報告されており³⁾、スキャン開始時間の最適化が図られている。しかし、寝台移動速度を左右する beam pitch の決定には、事前に個々の症例の下肢血流速度をある程度予測出来なければ困難である。したがって、検査前に病変存在部位の予測が出来れば、最適な造影スキャンタイミングが選択可能で、読影に適したアンギオ画像作成の一助となると考え、血圧・脈波測定値と下肢動脈造影 CT の画像所見との関連について検討した。

弾性動脈が心収縮期に拡張し、心拡張期で元に戻ることを Windkessel 作用と呼ばれており、伸展性の良い動脈では心臓からの駆出された血液の約 60% が収縮期に動脈で蓄えられ、拡張期に末梢へ送られる。石灰化などの動脈壁硬化が進行してくると動脈伸展性は失われ、Windkessel 作用が低下するため脈波伝播速度を増加させる。そこで、出来る限り正確な位置あわせや他の病変検出などの目的で造影前に撮像している下肢単純 CT から血管壁の石灰化の程度をカルシウムスコアで数値化し、脈波伝播速度と比較することにより、単純 CT でのカルシウムスコアが病

変存在を示す指標となりうるかも併せて検討した。

【対象と方法】

1. 使用機器

64 列 CT Aquilion 64 (東芝メディカルシステムズ株式会社)

ワークステーション AZE (株式会社 AZE)

血圧・脈波検査装置 COLIN form First (コーリンメディカルテクノロジー株式会社)

2. 対象

I. 下肢動脈造影 CT 画像所見と血圧・脈波測定値の相関性の検証

2008 年 5 月から 2010 年 3 月までに当院において血圧・脈波検査を測定し、かつ下肢動脈造影 CT を施行した 248 例(男性:161 例 28-93 歳 平均 74.0 歳, 女性:87 例 50-94 歳 平均 77.7 歳)の患者を対象とした。

II. 下肢単純 CT カルシウムスコアと病変有無との関連性の検証

2009 年 3 月から 2010 年 3 月までに血圧・脈波検査と下肢動脈造影 CT を施行した 117 例(男性:77 例 28-93 歳 平均 73.7 歳, 女性:40 例 50-89 歳 平均 76.5 歳)の患者を対象とした。

動脈硬化性疾患は鎖骨下動脈や腋窩動脈, 上腕動脈に出現することは少ないといわれているが, 上肢に狭窄を有する可能性のある左右上肢血圧差 20mmHg 以上の 2 症例は対象から除外した。

3. 方法

血圧・脈波測定値は足関節部・上腕血圧比 ankle-brachial pressure index (以下 ABI と略す) と脈波伝播速度 pulse wave velocity (以下 PWV と略す) の両上腕・両足関節部法 (baPWV 法) で測定されたものを用いた。血圧・脈波測定は患者を仰臥位にし, 左右の上腕と左右の足関節部それぞれに血圧計マンシェットを巻いて計測したものである。ABI は上腕動脈の収縮期血圧と前脛骨動脈の収縮期血圧を測定し, 下肢収縮期血圧を上肢血圧左右差 10mmHg 以下のとき高い方の上肢収縮期血圧で除した値である。

I. 下肢動脈造影 CT 画像所見と血圧・脈波測定値の相関性の検証方法

以下の項目について検証を行った。

- ①狭窄・閉塞病変有無と ABI 測定値
- ②狭窄・閉塞病変部位及びカ所数と ABI 測定値
- ③狭窄率の程度と PWV 測定値

放射線科医師により読影された CT 画像所見から, 病変の有無および狭窄・閉塞部位ごとに症例を分類した。狭窄・閉塞部位の分類は総腸骨動脈から外腸骨動脈, 総大腿動脈から浅大腿動脈, 膝窩動脈から下腿 3 分岐点の 3 部位とした。いずれかの部位に狭窄・閉塞がある各症例群, 複数部位にまたがる症例群, CT 所見で狭窄・閉塞なしとされた症例群に対して, ABI 測定値の度数分布を作成し t 検定にて評価した。また, CT 画像所見にて病変なしとされた症例と狭窄・閉塞が 1 箇所のみあるとされた症例を抽出し, それらを狭窄率 0%, 50%, 75%, 90%, 100% の症例群に分け, それぞれの症例群に対して PWV 測定値の度数分布を作成し, t 検定にて評価した。

II. 下肢単純 CT カルシウムスコアと病変有無との関連性の検証方法

下肢単純 CT のカルシウムスコアは, 単純 CT 画像をワークステーションにてカルシウムスコアを 2 部位に分けて測定した。その 2 部位は総腸骨動脈から外腸骨動脈と総大腿動脈から下腿 3 分岐点とした。造影 CT 画像所見にて病変なしとされた症例, 2 部位のいずれかまたはどちらにも狭窄・閉塞がある症例に対し, カルシウムスコアと PWV に相関性があるか検証した。カルシウムスコアは CT 値 130HU 以上の吸収域として確認される連なるピクセルのエリアをとり, このエリアにピークの CT 値へ比例するスカラー, 即ち $130 \leq HU < 200$ のとき 1, $200 \leq HU < 300$ のとき 2, $300 \leq HU < 400$ のとき 3, $400 \leq HU$ のとき 4 を乗じた値⁴⁾を用いた。

【結果】

I. 下肢動脈造影 CT 画像所見と血圧・脈波測定値の相関性の検証

①狭窄・閉塞病変有無と ABI 測定値

狭窄病変有無における ABI 測定値の度数分布 (図 1) は, 下肢動脈造影 CT 画像所見にて病変なしとされた症例群は平均値 1.03 (標準偏差 0.16, n=185), 狭窄病変があるとされた症例群は平均値 0.86 (標準偏差 0.19, n=222), 閉塞病変があるとされた症例群は平均値 0.63 (標準偏差 0.14, n=101) であり, すべてにおいて正規分布に従った。狭窄病変なしとされた症例群と病変があるとされた症例群との間には有意差を認めた ($p < 0.001$)。閉塞病変なしとされた症例群と病変があるとされた症例群との間には有意差

を認めた ($p < 0.001$)。狭窄病変があるとされた症例群と閉塞病変があるとされた症例群との間には有意差を認めた ($p < 0.001$)。

②狭窄・閉塞病変部位及びカ所数とABI測定値

病変部位におけるABI測定値の度数分布(図2)は、総腸骨動脈から外腸骨動脈の狭窄症例群の平均値0.86(標準偏差0.20, $n=91$)と閉塞症例群の平均値0.59(標準偏差0.15, $n=21$)、総大腿動脈から浅大腿動脈の狭窄症例群の平均値0.83(標準偏差0.19, $n=161$)と閉塞症例群の平均値0.64(標準偏差0.13, $n=56$)、膝窩動脈から下腿3分岐点の狭窄症例群の平均値0.85(標準偏差0.19, $n=72$)と閉塞症例群の平均値0.61(標準偏差0.17, $n=18$)であり、すべてにおいて正規分布に従った。各々の比較検討に対してt検定で評価したが全てにおいて有意差を認めなかった。

また、狭窄病変が1カ所に局限している群の平均値0.89(標準偏差0.17, $n=132$)と狭窄病変が複数カ所ある群の平均値0.80(標準偏差0.17, $n=90$)の間には有意差を認めなかった。閉塞病変が1カ所に局限している群の平均値0.62(標準偏差0.11, $n=69$)と閉塞病変が複数カ所ある群の平均値0.64(標準偏差0.11, $n=32$)の間にも有意差を認めなかった。

③狭窄率の程度とPWV測定値

また狭窄率の程度とPWV測定値の度数分布(図3)との比較では、狭窄率0%の平均値1768.2(標準偏差309.3, $n=86$)、狭窄率50%の平均値1800.1(標準偏差506.6, $n=22$)、狭窄率75%の平均値1945.2

(標準偏差374.3, $n=22$)、狭窄率90%の平均値2030.7(標準偏差315.8, $n=13$)、狭窄率100%の平均値1309.5(標準偏差408.3, $n=39$)であり、全てにおいて正規分布に従った。この結果から狭窄率0%に対して、狭窄率75%と90%では有意 ($p < 0.1$) にPWVが高値であった。狭窄率0%に対して、狭窄率100%では有意 ($p < 0.01$) にPWVが低値となり、狭窄率50%に対して、狭窄率100%では有意 ($p < 0.01$) にPWVが低値となったが、その他の検討では有意な差を認めなかった。

II. 下肢単純CTカルシウムスコアと病変有無との関連性の検証

病変有無におけるカルシウムスコアの度数分布との関連性では、下肢動脈造影CT画像所見にて病変なしとされた症例群の中央値は975.0、総腸骨動脈から外腸骨動脈の狭窄症例群の中央値は465.7、同部位の閉塞症例群の中央値は455.8、さらに総大腿動脈から下腿3分岐点の狭窄症例群の中央値は465.7、同部位の閉塞症例群の中央値は600.9となり、すべてにおいて非正規性の分布であることが判明した。カルシウムスコアとPWVをプロットしたグラフを図4に示した。病変なしとされた症例群は $p=0.276$ 、総腸骨動脈から外腸骨動脈の狭窄症例群は $p=0.183$ 、同部位の閉塞症例群は $p=0.478$ 、さらに総大腿動脈から下腿3分岐点の狭窄症例群は $p=0.145$ 、同部位の閉塞症例群は $p=0.297$ であり、すべてにおいて相関性を認めなかった。

図1 下肢動脈CT所見で病変有無によるABI測定値の変化

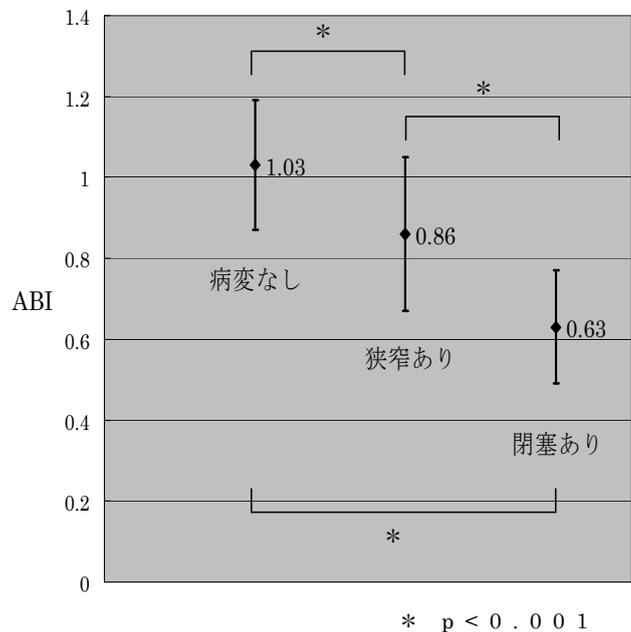
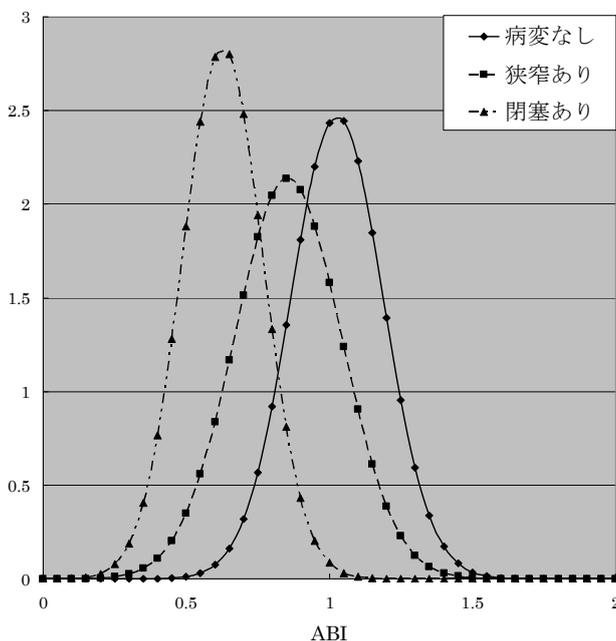


図2 下肢動脈CT所見の病変部位によるABI測定値の変化

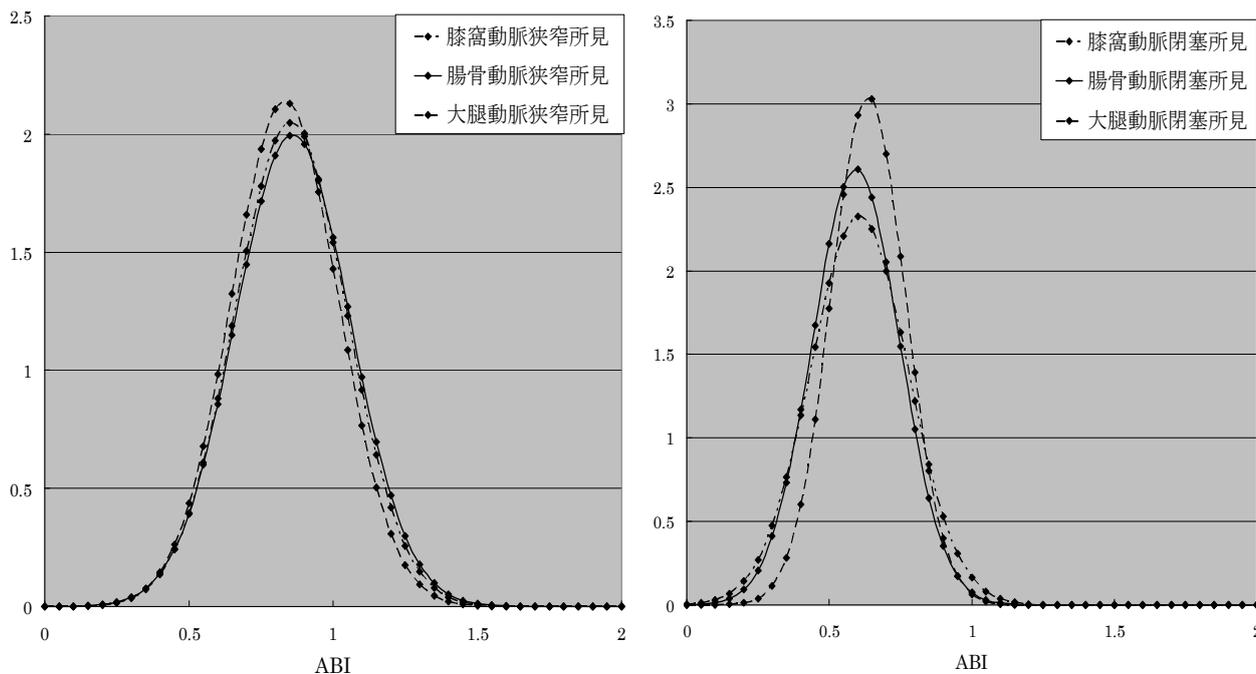


図3 下肢動脈CT所見での狭窄率によるPWV測定値の変化

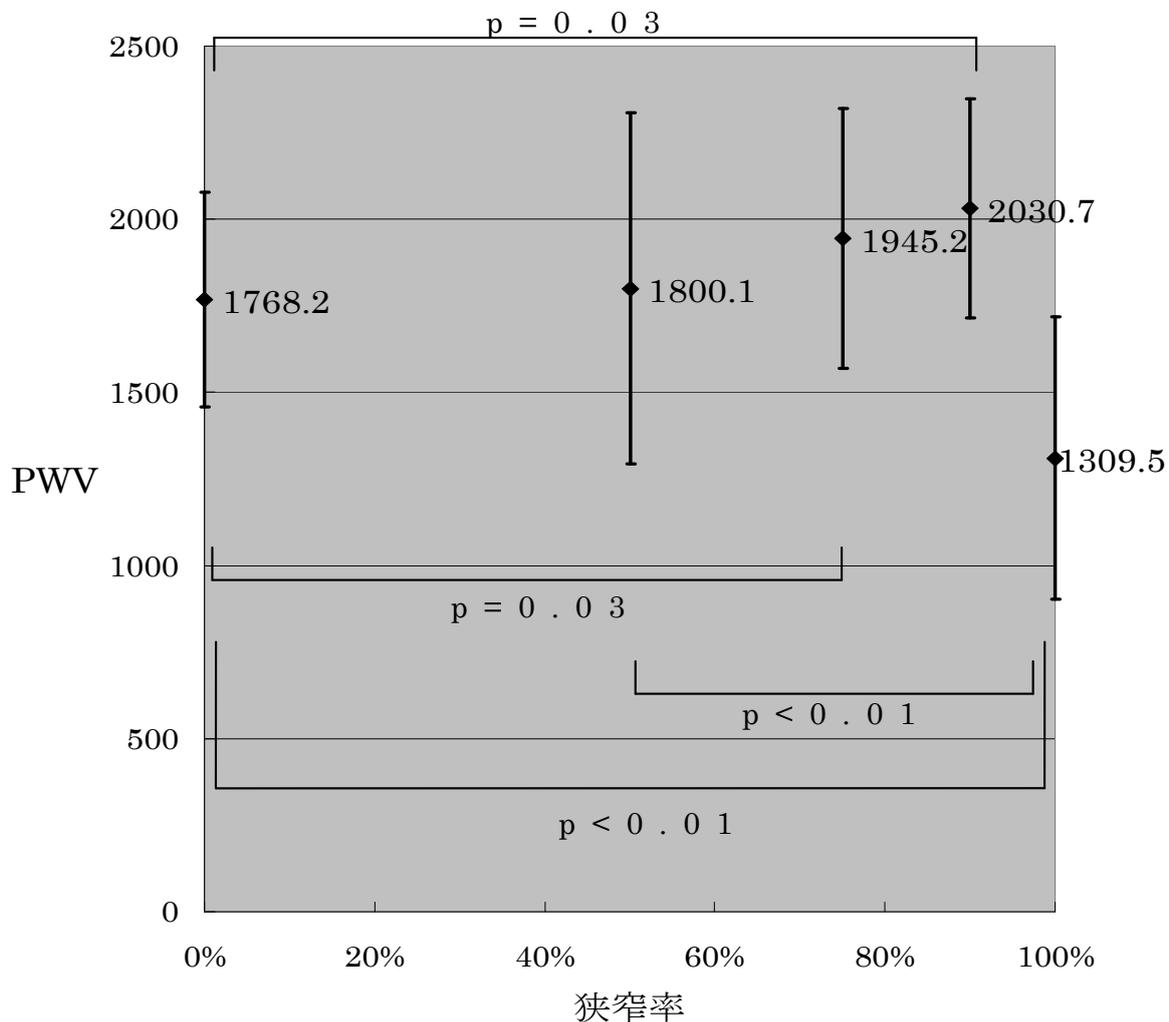
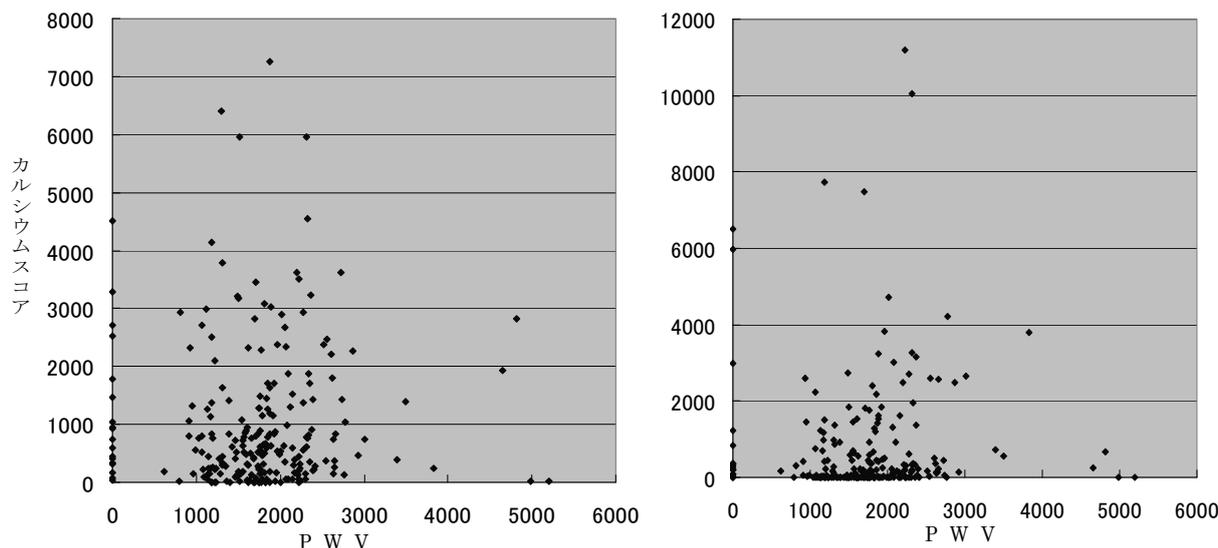


図4 カルシウムスコアとPWV測定値



【考察】

I. 下肢動脈造影 CT 画像所見と血圧・脈波測定値の相関性の検証

①狭窄・閉塞病変有無とABI測定値

下肢動脈造影 CT 画像所見に病変がない群と狭窄病変がある群や、閉塞病変がある群に対してABI測定値は相関があり、CT検査に先立って行われたABI測定値から病変の有無を予測することが可能であると考えた。正常人では下肢収縮期血圧は上肢収縮期血圧よりも高く測定される。下肢の末梢動脈に狭窄病変が存在する場合は下肢の血圧が低下するためABIも低下する。透析患者や重傷糖尿病患者の動脈壁は高度石灰化を認めることが多く、動脈壁硬度がマンシット圧に抵抗することにより、見かけ上の足関節部血圧が上昇してABIが高値をとることがある。したがって、異常高値であったり、正常範囲の測定値であっても下肢末梢動脈病変が存在することも否定できない。一般的にABI測定値が0.9未満および1.3以上は異常とされている⁵⁾。今回の検討で、病変がない群に対して狭窄病変がある群は平均値で0.17低下し、閉塞病変がある群は病変がない群に対して平均値で0.40低下した。狭窄病変によって下肢の血流が減少し、血流低下の分だけ足関節血圧が低下するため、正常症例と比較するとABI測定値は低下していると考えられた。閉塞病変では通常の本幹は途絶しているため、側副血行路を介して末梢に送り、本幹を通ってくる狭窄症例より血流は少ないのでさらにABI測定値は低下していると考えられた。今回の症例の検討結果においても、ABI測定値は狭窄病変の重症度に逆相関であることが証明された。

②狭窄・閉塞病変部位及びカ所数とABI測定値

次に、病変の部位の差による検討ではABI測定値との有意な相関が認められなかった。狭窄病変および閉塞病変が1カ所に限局する群と複数カ所にわたってある群との比較検討においてもABI測定値の間には有意差が認められなかった。足関節部血圧はその上流にある動脈の病変で左右されるものの、その病変が上流のどのレベルにあっても差は認められなかった。測定部位からの距離によって狭窄及び閉塞症例群のABI測定値が変化しないのは、病変より下流の本幹血管及び側副血行路の血圧が足関節部血圧に伝播しているためと考えられた。

米国心臓学会 (AHA) によると、 $1.3 < \text{ABI}$ で動脈に石灰化の疑いがある、 $\text{ABI} < 0.9$ で動脈閉塞の疑いがある、 $\text{ABI} < 0.8$ で動脈閉塞の可能性が高い、 $0.5 < \text{ABI} < 0.9$ で動脈閉塞が1ヶ所はある、 $\text{ABI} < 0.5$ で動脈閉塞が複数ヶ所ある、としている⁶⁾。間歇性跛行を主体とするFontaine II度のように、病態を限定すれば病変部位を予測することはできるであろうが、CT施行前にABI測定値で全症例から病変部位を予測することは困難である。

③狭窄率の程度とPWV測定値

PWVとの比較では狭窄率0%群に対して75%群、90%群、100%群との間に有意な差を認めたが、狭窄率50%群に対しては、100%群以外は有意な差が認められなかった。狭窄率75%以上の症例群と狭窄率50%の症例群の間に有意差がないため、PWV測定値から治療対象となる境界域を決定するには至らなかった。

PWVは距離Lを隔てた2点の脈波を同時記録し、

その2つの脈波の時間的差 ΔT を測定することによって、

$$PWV=L/\Delta T$$

からもとめられる⁷⁾。また血管や血管の中に流れている血液の性状で大きく左右され、血管壁弾性係数E、血管厚みh、血管内径r、血液密度 ρ とすると次の関係式が与えられている。

$$PWV^2=E \times (h/2r) \times \rho$$

これら変数を左右する因子には、加齢、血圧、性別、血液粘性、心拍数、血液速度がある⁸⁾。このように、PWVは流速の情報も含んでいる。動脈硬化が進むに従って、血管を伝播する脈波速度は速くなり、また狭窄が進行してくるとホースの出口を絞るが如く流速が早くなることで、狭窄率75%群と90%群ではPWV測定値が高値となっていると考えられた。さらに病変が狭窄率100%（閉塞）へ進むと流速が無くなってしまいPWV測定値が低値となっていると考えられた。

以上のことより、CT施行前に行われる血圧・脈波測定値から、病変部位は予測できないが、病変の存在と狭窄の程度を予測することが可能であり、このことより造影スキヤンタイミングの判断や下肢アンギオ画像作成の一助となると考えられた。

II. 下肢単純CTカルシウムスコアと病変有無との関連性の検証

下肢単純CTから求めたカルシウムスコアと血管の硬さの指標ともなるPWV測定値との間には相関性がみられなかった。

一般的動脈硬化と云われる病変には、病理学的に粥状硬化と壁硬化の2つの変化がある。粥状硬化は動脈内皮表面に脂肪線条(fatty streak)という脂肪沈着が線維性硬斑(fibrous plaque)となって血管内腔に突出した硬性隆起病変となる。これがさらに進むと、石灰化や血栓の付着をともなって血流を遮断する。一方、壁硬化は血管中膜壊死によるもので、加齢により平滑筋が変性し巣状石灰化となる⁹⁾。

いずれの動脈硬化も石灰化は最終形態の姿であり、前述したPWV関係式を大きく変動させうる動脈伸展性は、CTで認識される石灰化が生じる前の段階から低下していることも十分予測できる。また、カルシウムスコアは絶対測定値でないため、被験者の身長や体重、性別、年齢、血管容積、全身血管の石灰化の割合などを考慮して補正する必要がある。

また、血管の石灰化が強ければ、狭窄や閉塞があるとはかぎらず、単純CT上で石灰化が少ない症例で

あっても造影CTでは病変が存在する症例は多数認められた。病変による血液流速や側副血行路の発達程度によってPWV測定値は左右されるが、石灰化の程度と側副血行路の発達程度とは無関係であり、カルシウムスコアとPWVの関連性は少ないと考えられた。したがって、石灰化の程度から血管病変を示唆する指標にはならないことが判明した。

【結語】

下肢動脈造影CTの所見とABI測定値との間には相関性が認められた。今回の結果からABI測定値が0.8近傍の値であれば狭窄病変があり、0.6近傍の値であれば閉塞病変があると予測出来た。当院において下肢動脈造影CTの通常のbeam pitchは0.8281（東芝ヘリカルピッチで53）を用いているが、ABI測定値から狭窄病変および閉塞病変が示唆された場合、さらにbeam pitchを小さくしてスキヤンすることで、造影不良例を少なくすることができると考えられた。

具体的なbeam pitch設定値については、下肢動脈選択造影された症例の血管造影画像の健側と患側を比較することにより求められると考えており、選択的動脈造影所見とCT画像との比較などは今後の検討課題とした。

カルシウムスコアは下肢血管病変の有無や程度と比較検討したが相関性が認められず、病変の予測の指標にならなかった。これらの検討結果から石灰化の有無や程度に関わらず、ABI測定値のみから病変の有無を予測し、beam pitchの設定を検討することで造影不良を少なくする事が出来ると考えられた。

【文献】

- 1) 北井孝明, 原口隆志: 64DAS-MDCTを用いた下肢血管 angiography における撮影方法の考案. 日本放射線技術学会雑誌 67: 51-52, 2011
- 2) Fleischmann D, Rubin G: quantification of intravenously administered contrast medium transit through the peripheral arteries implications for CT angiography. Radiology 236: 1076-1082, 2005
- 3) 北井孝明, 小川武, 野口潤, 他: Optimal Timing of Contrast Enhancement in Coronary CT Angiography Using the Bolus-tracking Method. 日本放射線技術学会雑誌 63: 653-660, 2007
- 4) 片野広之, 出村光一郎, 竹内洋太郎, 他: 頸動脈狭窄症におけるカルシウムスコア適用の試み.

脳卒中の外科 35 : 423-426, 2007

- 5) 松尾汎 : 血管検査マニュアル, Vascular Lab 2 : 20-22, 2005
- 6) Report and Recommendations of an International workshop Sponsored by the American diabetes Association and the American Hert Association : Assesment of Peripheral Vascular disease in Diabetes . AHA Medical Scientific Statement Circulation 88 : 819-828, 1993
- 7) 小澤利男, 増田善昭 : 脈波速度, 第1版, 2002, 36-37, メジカルビュー, 東京
- 8) 増田善昭 : 動脈波の臨床, 第1版, 2003, 94-97, メジカルビュー, 東京
- 9) 矢崎義雄, 北徹 : 血管研究の最前線, 実験医学, 第13版, 1995, 135-136, 羊土社, 東京