原 著

下 腿 筋 循 環 動 態 か ら み た
腓 腹 部 間 歇 性 跛 行 の 検 討*

平 井 正 文** 伴 一 郎** 仲 田 幸 文**
 松 原 純 一** 新 城 健 蔵** 河 合 誠 一**
 鈴 木 勝 一** 蔡 文 雄** 塩 野 谷 恵 彦**

Key words: Xe-133 clearance method, Intermittent claudication, Muscle circulatory insufficiency

間歇性跛行は、末梢動脈閉塞性疾患における特異的な症状で、動脈血行障害のために運動時の筋に必要な血液が供給されないために生じ、数分間の休息にて解消する。下肢においては歩行中に生ずるが、動脈の閉塞部位により跛行の生ずる部位が異なる。下腿腓腹部は最も出現しやすい部位で、通常「跛行」といえば腓腹部間歇性跛行を意味し、一般に、膝窩動脈の腓腹動脈起始部またはそれより中枢の主幹動脈の閉塞や強い狭窄によって生ずるといわれている¹⁾。

われわれは、腓腹部間歇性跛行の発生機序をさらに追求するため、膝窩動脈以上には閉塞、狭窄がなく、下腿動脈のみに閉塞をもつバージャー病において、下肢血管撮影による下腿動脈（前脛骨動脈、後脛骨動脈、腓骨動脈）の閉塞状況と、運動負荷を加えた ¹³³Xe クリアランス法による下腿三筋（前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋）の筋循環不全とを比較検討し、さらにその結果を、膝窩動脈以上に閉塞や強い狭窄があり腓腹部間歇性跛行を訴える末梢動脈閉塞性疾患症例と比較検討した。

¹³³Xe クリアランス法は、1964年、Lassen ら²⁾により紹介された方法で、運動時、運動後の筋の effective blood flow を測定でき、反復検査が容易で末梢動脈閉塞性疾患の診断、経過観察などに広く応用されている³⁾が、他の大きな特長として、目的とする筋の循環

動態を「選択的」に把握できるということがあげられる。とくに、下腿動脈のみの閉塞症においては、多くの筋をそれぞれ別個に検討することにより、より正しく循環動態を知ることができる。

1. 対象, 方法

対象は下腿動脈のみに閉塞をもつバージャー病36人45肢で、男35人、女1人であり、平均年齢は38才であった。

前脛骨筋、腓腹筋の検索は45肢すべてに、ヒラメ筋では38肢におこなった。

膝窩動脈以上に閉塞または強い狭窄をもち腓腹部間歇性跛行を訴える症例(以後、跛行群と略す)は、39人46肢(閉塞性動脈硬化症: 15肢、バージャー病: 31肢)で、男37人、女2人であり、平均年齢は47才であった。

前脛骨筋は全ての患者に検査可能であったが、腓腹筋は22肢、ヒラメ筋は10肢に検査をおこなった。これは、われわれの腓腹筋、ヒラメ筋検査時には強い運動負荷をあたえているため、高令者、疼痛性潰瘍を有する症例にはおこなわなかったためであり、またヒラメ筋への ¹³³Xe クリアランス法の応用が他の2筋に比べおそかったことによる。

¹³³Xe クリアランス法は、すでに発表している non-ischemic work 法⁴⁾で、図1に示す方法で運動負荷を

* Consideration for intermittent claudication in the calf in view of hemodynamics of leg muscles.

** 名古屋大学医学部附属病院分院外科, Masafumi HIRAI, Ichiro BAN, Yukifumi NAKATA, Junichi MATSUBARA, Kenzo SHINJO, Seiichi KAWAI, Shoichi SUZUKI, Tsai Wen-Hsiung and Shigehiko SHIONOYA : Department of Surgery, Nagoya University Branch Hospital.

図1 ^{133}Xe クリアランス法. 図2 前脛骨動脈と前脛骨筋クリアランスカーブ。
() 内、斜線は筋クリアランス異常症例。

A: 前脛骨動脈が起始部より末梢で閉塞または開存にて異常カーブを示す症例。

B: 前脛骨動脈が起始部で閉塞または起始部に強い狭窄をもつ症例。

C: 跛行群 (○: 150m以上の歩行で跛行を訴える症例。●: 100m以下の歩行で跛行を訴える症例)。

図3 前脛骨筋異常カーブの比較。

加え、得られた ^{133}Xe 減衰カーブより次のパラメーターを計算している。

MBF_E: 運動時最大血流量 (ml/100g/分)。

MBF_H: 運動後最大血流量 (ml/100g/分)。

T-time: 運動終了より運動後充血の終了するまでの時間 (分)。

R-index: 運動1分後に残存する充血が、運動時、運動後の全充血の何%にあたるかを示す index (%)。

各三筋の正常範囲を次の如く定めている。

前脛骨筋: MBF_E ≥ 12.0ml/100g/min, T-time < 2.6分, R-index < 22.0%。

MBF_Eが24.0ml/100g/min以下の症例では、T-time < 1.8分, R-index < 10.0%, MBF_E ≥ MBF_H

腓腹筋: MBF_E ≥ 12.0ml/100g/min, T-time < 3.1分, R-index < 38.0%。

ヒラメ筋: MBF_E ≥ 12.0ml/100g/min, T-time < 2.7分, R-index < 28.0%。

Ⅱ. 結 果

1. 前脛骨動脈と前脛骨筋カーブ

下腿動脈のみに閉塞をもつ45肢の結果は図2に示すごとくで、前脛骨動脈が起始部で閉塞している4例と約1.5cmにわたり起始部に強い狭窄のある1例は全て

図4 46才のバージャー病男子で、膝窩動脈の軽度の狭窄のため腓腹動脈が閉塞、また腓骨動脈も起始部で閉塞している。前脛骨筋、ヒラメ筋クリアランスカーブは正常で膝窩動脈の狭窄は下腿筋に影響していない。それゆえ、腓腹筋カーブの異常は腓腹動脈閉塞による影響と考えられる。

図5 後脛骨動脈、腓骨動脈と腓腹筋クリアランスカーブ。()内、斜線は筋クリアランス異常症例。

A : 後脛骨動脈が起始部または腓骨動脈分岐部で閉塞し腓腹筋異常カーブを示した症例(跛行を訴える例を除く)。B : 跛行群。

図6 腓腹筋異常カーブの比較。

前脛骨筋異常カーブを示した。その他の症例では、閉塞の高さと異常カーブ出現頻度との間にとくに相関関係はみられなかった。

これらの異常カーブの虚血の強さを跛行群と比較してみると(図3)前脛骨動脈起始部閉塞例では一般に、高度の跛行群(100m以下の歩行で跛行が生ずる症例)と同程度の著明な運動時最大血流量の減少と運動後充血の強い延長がみられたが、その他の異常例では明らかに跛行群より軽度の虚血カーブを示した。

2. 後脛骨動脈、腓骨動脈と腓腹筋カーブ

一般に、腓腹筋は腓腹動脈から血液の供給をうけているといわれている⁵⁾⁶⁾。われわれは、膝窩動脈の軽度の狭窄のため腓腹動脈が起始部で閉塞している2症例を経験しているが、それらの症例では、前脛骨筋、ヒラメ筋が正常で腓腹筋のみ異常を示し腓腹動脈閉塞による影響と考えられた(図4)。

下腿動脈閉塞症45肢の腓腹筋クリアランスの結果は図5に示すとうり、後脛骨動脈が起始部または腓骨動脈分岐部で閉塞している症例では14肢中13肢に異常カーブが示された。腓骨動脈は起始部で閉塞しても腓

図7 後脛骨動脈, 腓骨動脈とヒラメ筋クリアランスカーブ。()内, 斜線は筋クリアランス異常症例。

腹筋に異常を与えなかった。このことは、後脛骨動脈もまた腓腹筋への血液供給に参与していることを示す。

後脛骨動脈が起始部または腓骨動脈分岐部で閉塞し腓腹筋異常カーブを示した13例中、1症例のみが腓腹部間歇性跛行を訴えた。跛行を訴えない12肢と跛行群との腓腹筋虚血程度を比較すると、明らかに跛行群に高度の異常が示された(図6)。前記の腓腹動脈閉塞を示した2例も跛行を訴えておらず、腓腹筋の異常は後脛骨動脈閉塞例と同程度であった。しかし、腓腹部間歇性跛行を訴えていた症例の腓腹筋カーブは跛行群と同程度の強い循環不全を示していた($MBF_E=4.0\text{ml}/100\text{g}/\text{分}$, $T\text{-time}=8.0\text{分}$, $R\text{-index}=82.2\%$)。この症例は37才のバージャー病男子で、前脛骨動脈が起始部で、後脛骨動脈が腓骨動脈分岐部で閉塞しており、膝窩動脈以上は腓腹動脈も含め閉塞、狭窄はなかった。本患者の反対側下肢は血行障害のため膝下で切断されており、また手指にも虚血症状が強く胸部交感神経節切除術をうけている。さらに測定後に閉塞が急速に進行し本肢をも膝上で切断するにいたっており、患者の疾病は進行性で強い筋栄養血管障害の存在が推察された。この患者では、後脛骨動脈の閉塞に腓腹動脈領域の筋肉枝を含めた強い筋栄養血管障害が加わって、高度の腓腹筋循環不全をおこし腓腹部間歇性跛行が出現したものと思われる。

次に、下肢血管撮影にて膝窩動脈以上に閉塞、狭窄がないにもかかわらず、典型的な腓腹部間歇性跛行を訴える2症例を紹介する。

症例1 43才のバージャー病患者で、血管撮影にて後脛骨動脈が足関節上部で閉塞し、腓腹動脈が1本閉塞している。ヒラメ筋、腓腹筋外側頭の ^{133}Xe クリアランスカーブは正常であったが、腓腹筋内側頭は跛行群と同程度の強い筋循環不全を示した($MBF_E=4.8\text{ml}/100\text{g}/\text{分}$, $T\text{-time}=5.75\text{分}$, $R\text{-index}=76.3\%$)。本症例では、前脛骨動脈が足関節まで開存しているにもかかわらず前脛骨筋カーブは異常で、筋栄養血管障害の存在が認められる。この症例では腓腹動脈の閉塞に筋栄養血管障害が加わって腓腹部跛行を示すにいったと思われる。

症例2 37才のバージャー病男子で血管撮影にて後脛骨動脈が起始部でまた腓腹動脈が1本閉塞している。前脛骨筋、ヒラメ筋カーブは正常であったが、腓腹筋内側頭は跛行群と同程度の強い異常を示した($MBF_E=4.0\text{ml}/100\text{g}/\text{分}$, $T\text{-time}=5.0\text{分}$, $R\text{-index}=74.0\%$)。腓腹筋外側頭は検査しなかった。この症例では、腓腹動脈と後脛骨動脈の閉塞の合併により跛行が生じたものと考えられる。

3. 後脛骨動脈, 腓骨動脈とヒラメ筋カーブ

下腿動脈閉塞症38肢の結果は図7に示すごとくで、他の2筋に比較し筋循環不全が出現しにくかった。しかし、この症例中1例ではヒラメ筋循環不全による間歇性跛行と考えられる興味ある ^{133}Xe クリアランス結果を得た。

症例3 44才のバージャー病男子で、約1kmの歩行で下腿外側に跛行を訴える。下肢血管撮影では前脛骨動脈が上1/3で、腓骨動脈は起始部で閉塞しており、後脛骨動脈は開存していた。膝窩動脈以上には閉塞、狭窄はない。 ^{133}Xe クリアランス法では、前脛骨筋および腓腹筋内側頭、外側頭は正常であったが、ヒラメ筋のみ異常を示し、本患者の跛行はヒラメ筋循環不全によるものと診断した。

跛行群では、前脛骨筋、腓腹筋と同様、全例にヒラメ筋異常カーブが認められた。

Ⅲ. 考 案

1. 前脛骨筋

前脛骨筋は代謝活動に必要な血液を全て前脛骨動脈に依存している⁵⁾⁶⁾。われわれの症例でも、たとえ後脛骨動脈や腓骨動脈が起始部にて閉塞をおこしても前脛骨筋の循環は前脛骨動脈の状況のみによって決定されている。それゆえ、本動脈が起始部で閉塞したり強い起始部の狭窄で前脛骨筋の高度の循環障害がおこるのは当然であろう。しかし、このような強い循環

図8 67才の閉塞性動脈硬化症の患者で、約100mの歩行で腓腹部間歇性跛行を訴える。下肢血管撮影で、膝窩動脈以下が閉塞し、後脛骨動脈は側副血行にて造影されているのが認められる。

障害をおこしても患者は下腿の跛行を全く訴えなかった。これは、前脛骨筋が下腿筋の中で占める割合の少ないこと、歩行時の運動量が腓腹部に比べ少ないことによる⁷⁾と考えられ、たとえ前脛骨筋が強い筋循環不全におちいても通常の歩行では跛行は生じないと思われる。前脛骨筋の強い虚血を示す疾患に anterior tibial compartment syndrome がある。この疾患では前脛骨動脈の閉塞を伴わないことが多いが⁸⁾、前脛骨筋内圧の上昇により前脛骨筋群が壊死に陥る疾患であり、急性期では前脛骨部の腫脹、発赤、持続性の疼痛などの症状を示すが、慢性期のものでは間歇性跛行とよく似た運動後の前脛骨部疼痛、疲労感を生ずる。しかし、これらの症状は強い運動後に出現し、通常の歩行中に生ずる慢性動脈閉塞性疾患による間歇性跛行とは区別されるものといわれる⁹⁾。133Xe クリアランス検査時の足関節最大背屈運動は、前脛骨筋群を選択的に強く運動させる方法で、前脛骨動脈起始部閉塞群では検査時に前脛骨部から足関節にかけ疲労感を訴えることが多かった。

以上の前脛骨動脈起始部閉塞症例の経過を本法によって追求していくと改善を示す症例があり、このような症例でも側副血行の發育が期待できる。

起始部より末梢の閉塞または開存にて異常を示した症例では強い筋循環不全は認められなかった。とくに跛行群に比べ運動時最大血流量が大きく減少しないことが特長であった。これは残存している前脛骨動脈により駆動圧がよく維持されるため、筋栄養血管内圧の

大きな低下がなく運動筋による圧迫が比較的軽度なためであろう¹⁰⁾。足背動脈閉塞例や前脛骨動脈が開存していても前脛骨筋異常カーブを示す症例では強い筋栄養血管障害の存在が疑われ、バージャー病の特長を現わしている¹⁰⁾。

2. 腓腹筋

一般に腓腹筋は、腓腹動脈からほとんどの血液を供給されているといわれており⁵⁾⁶⁾、症例1と同じように腓腹筋内側頭と外側頭とで異なったクリアランスカーブがえられたという報告は³⁾¹¹⁾、腓腹動脈閉塞による影響であろう。しかし、われわれの結果では、後脛骨動脈もまた腓腹筋への血液供給に関与していた。次の症例はこのことを間接的に示すものである。67才の閉塞性動脈硬化症の患者で、約100mの歩行で典型的な腓腹部跛行を訴えており、下肢動脈撮影では膝窩動脈から下腿動脈にかけ閉塞が認められた(図8)。そこで、総大腿動脈から足関節部で後脛骨動脈への自家大伏在静脈バイパスを施行したところ、患者の跛行は完全に消失した。このことは、バイパス末梢吻合口より逆行性に血液が後脛骨動脈を経て腓腹筋、ヒラメ筋へ流れていることを示し、後脛骨動脈と腓腹筋との間に血行路が存在するとを示す。

一般に、中枢より脛骨動脈へのバイパスは、足部の安静時痛、潰瘍の治療あるいは足や足趾の切断の危険の解除が目的となるが¹²⁾、本手術により間歇性跛行が治癒したとの種々の報告がある^{12)~15)}。この手術の際には、腰部交感神経節切除術が併用されることが多いが、腰交切は運動時筋血流量を増加させえず^{16)~18)}、跛行の改善はバイパス成功によるものである。Noonら¹⁵⁾は、バイパス成功後のほとんどの症例で足背、後脛骨両動脈の搏動が触知できるようになったといい、逆行性の流れを重視している。当然、閉塞部より末梢の血圧は低く血液が逆流するよい条件をつくっている。それゆえ、中枢から脛骨動脈下部へのバイパスが成功しても逆行性に血液を運ぶ動脈が開存していなければ下腿の間歇性跛行は改善しない。

腓腹筋がたとえ循環不全をおこしても、それが高度でなければ間歇性跛行を生じない。われわれの結果では、後脛骨動脈の起始部または腓骨動脈分岐部での閉塞や腓腹動脈の閉塞例での腓腹筋循環不全は、跛行を生ずるほど高度ではなかった。この2つの閉塞の合併や、この閉塞に強い筋栄養血管障害が加わったり、または急性閉塞時の側副血行發育不十分な時期には、強い腓腹筋障害が生じ、膝窩動脈以上に閉塞、狭窄がなくとも腓腹部間歇性跛行が出現するものと思われる。

3. ヒラメ筋

Bromfield⁵⁾や Abramson⁶⁾は、骨格筋とその栄養動脈との関係を記載しているが、ヒラメ筋は少くとも5カ所からの流入動脈により血液の供給を受けており、筋循環不全がおこりにくいと述べている。われわれの結果もこれを裏付けるものであった。

ヒラメ筋の間歇性跛行に関する報告はほとんどない。Jackson¹⁹⁾はその著書の中で、動脈の分節的な閉塞が種々の部分に跛行を出現させ、ヒラメ筋跛行の場合は、下腿後面から内側にかけ症状をおこすと記載しているが、その詳細は不明である。

膝窩動脈以上の主幹動脈の閉塞や強い狭窄が存在するときには、下腿筋全てに高度の筋循環不全が起る。この中で腓腹筋は、大腿骨の内、外側上顆に付着しているので、足関節運動ばかりでなく膝関節運動にもたずさわり、また赤筋としてのヒラメ筋より白筋としての腓腹筋は強い収縮をおこし疲労しやすいといわれており²⁰⁾、膝窩動脈以上の閉塞時の腓腹部間歇性跛行は腓腹筋が主体となっていると思われる¹⁾。しかし、ヒラメ筋も下腿三頭筋として、腓腹筋とともに歩行時の運動量が下腿筋の中で最も多く、またヒラメ筋跛行も存在することから、腓腹筋ばかりでなくヒラメ筋も加わって腓腹部間歇性跛行を形成していると考えられる。

結 語

下腿動脈のみに閉塞をもつバージャー病45肢の前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋の¹³³Xeクリアランスカーブを分析し、その結果を膝窩動脈以上の閉塞や強い狭窄にて腓腹部間歇性跛行を訴える症例と比較検討することにより、腓腹部間歇性跛行の発生機序についての考察を加え、さらに跛行を治療目的とした中枢より脛骨動脈下部へのバイパス手術の理論的根拠についてのべた。

文 献

- 1) Strandness, D.E. : Peripheral Arterial Disease. Brown and Company, Boston, 1969.
- 2) Lassen, N. A. et al. : Measurement of blood-flow through skeletal muscle by intramuscular injection of Xe-133. *Lancet*, 1; 686, 1964.
- 3) Alpert, J. S. et al. : Evaluation of arterial insufficiency of the legs. A comparison of arteriography and the Xe-133 walking test. *Cardiovasc. Res.*, 2; 161, 1968.
- 4) 平井正文, 塩野谷恵彦 : 間歇性跛行と筋血流量. 血液と脈管, 4; 1097, 1973.
- 5) Blomfield, L. B. : Intramuscular vascular patterns in man. *Proc. Roy. Soc. Med.*, 38; 617, 1945.
- 6) Abramson, D. I. : Circulation in the Extremities. Academic Press. New York and London, 1967.
- 7) Ducroquet, R. J. et P. (鈴木良平訳) : 歩行と跛行. 正常および病的歩行の研究. 医歯薬出版株式会社, 東京, 1973.
- 8) Rorabeck, C. H. et al. : Anterior tibial compartment syndrome : A clinical and experimental review. *Canadian J. Surg.*, 15; 249, 1972.
- 9) Leach, R. E. et al. : Anterior tibial compartment syndrome. *J. Bone. Joint. Surg. (Am)*, 49A; 451, 1967.
- 10) 平井正文, 塩野谷恵彦 : Buerger 病と筋栄養血管障害. 医学と生物学, 87(1); 35, 1973.
- 11) Linhalt, J. et al. : Some aspects of muscle circulation in ischemia. In Hudlická, O: Circulation in Skeletal Muscle. Pergamon Press. Oxford, London, Edinburgh, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig. 1968.
- 12) Kaminski, D. L. et al. : Femoral-tibial bypass grafting. *Arch. Surg.*, 104; 527, 1972.
- 13) Garrett, H. E. et al. : Distal tibial artery bypass with autogenous vein grafts : An analysis of 56 cases. *Surgery*, 63; 90, 1968.
- 14) Royster, T. S. and Reiss, I. : Bypass grafting from the profunda femoris to the distal anterior tibial artery. *Arch. Surg.*, 97; 521, 1968.
- 15) Noon, G. P. et al. : Distal tibial arterial bypass. *Arch. Surg.*, 99; 770, 1969.
- 16) Tice, D. A. et al. : Lumbar sympathectomy. *Arch. Surg.*, 87; 461, 1963.
- 17) Hoffmann, D. C. and Jepson, R. P. : Muscle blood flow and sympathectomy. *Surgery Gynec. Obstet.*, 127(1); 12, 1968.
- 18) 平井正文, 他 : 腰部交感神経切除術と前脛骨筋血流量. 脈管学, 14(6); 525, 1974.
- 19) Jackson, B. B. : Surgery of Acquired Vascular Disorders. Charles C Thomas Publisher. Springfield, Illinois, USA., 1969.
- 20) Folkow, B. and Halicka, H. D. : A comparison between "red" and "white" muscle with respect to blood supply, capillary surface area and oxygen uptake during rest and exercise. *Microvasc. Res.*, 1; 1, 1968.

<Abstracts>

Consideration for intermittent claudication in the calf in view of hemodynamics of leg muscles

Masafumi Hirai, Ichiro Ban, Yukifumi Nakata, Junichi Matsubara, Kenzo Shinjo, Seiichi Kawai, Shoichi Suzuki, Tsai Wen-Hsiung and Shigehiko Shionoya

Department of Surgery, Nagoya University Branch Hospital

In 45 limbs with occlusion only in the leg arteries with Buerger's disease relationship between the anatomical levels of arterial occlusion and muscle insufficiency in the anterior tibial, gastrocnemius and soleus muscles evaluated by Xe-133 clearance method was examined. Furthermore, pathogenesis of intermittent claudication in the calf was reconsidered from these results compared with clearance curves attained from 46 limbs of 39 patients with occlusion or stenosis proximal to the popliteal artery.

All four cases with complete occlusion of the anterior tibial artery and one case with severe stenosis in 1.5 cm length at its origin had abnormal clearance curves in the anterior tibial muscle. In the other cases the frequency of development of muscle insufficiency did not correlate with the anatomical levels of occlusion.

Curves from cases with occlusion or stenosis of the anterior tibial artery at its origin showed similar

striking abnormality in the anterior tibial muscle as those with severe intermittent claudication. However, even though these severe insufficiency in the anterior tibial muscle was shown, patients did not complain of intermittent claudication in the leg. This may be explained that volume of the anterior tibial compartment is less than that of the posterior tibial compartment and work load performed by the anterior tibial muscle during walking is less than that by the calf muscles. Therefore, it could be considered that circulatory insufficiency in the anterior tibial muscle does not develop intermittent claudication in the leg during ordinary walking. The other abnormal curves obtained from the cases with occlusion distal to the origin or open of the anterior tibial artery showed significantly slight abnormality.

Circulatory insufficiency of the gastrocnemius muscle was produced by occlusions not only of the sural artery, but also of the posterior tibial artery at its origin or at the origin of the peroneal artery, indicating vascular tracts existed from the posterior tibial artery to the gastrocnemius muscle. In cases without occlusion or stenosis proximal to the popliteal artery, the sural artery, the posterior tibial artery and the muscle nutritive arteries were concerned with development of intermittent claudication in the calf each other.

One case whose Xe-133 clearance curves indicated that intermittent claudication developed owing to the circulatory insufficiency of the soleus muscle was reported.