

## 間歇性跛行の評価法としてのトレッドミル負荷 容積脈波測定の有用性について

藤原 靖之      箱島 明      阿久津博美  
矢野 浩巳      高江 久仁      久田 義也

**要 旨**：間歇性跛行を有する ASO 症例 32 症例・39 肢を対象として、トレッドミル負荷容積脈波を施行し、その重症度と術前・術後での評価を行いその有用性を検討した。脈波における術前・術後の crest time は  $0.37 \pm 0.01$  sec から  $0.23 \pm 0.05$  sec ( $p < 0.01$ ) と改善した。負荷脈波では、術前の症状出現で中止した直後の患肢では全例 flat wave となった。術前後でのトレッドミル負荷の中止時間は stage II から stage IV と上昇した。運動量でみると  $4.0 \pm 1.4$  Mets から  $6.6 \pm 2.2$  Mets ( $p < 0.01$ ) と上昇した。また、収縮期血圧と脈拍をかけた double product も  $19,200 \pm 5,400$  から  $25,100 \pm 7,200$  ( $p < 0.01$ ) と上昇した。症状消退時間は  $5.0 \pm 2.8$  min から  $1.3 \pm 1.8$  min ( $p < 0.01$ ) と短縮し、脈波復元時間も  $15.2 \pm 5.9$  min から  $6.0 \pm 6.4$  min ( $p < 0.01$ ) と短縮した。API は術前後で  $0.5 \pm 0.2$  から  $0.9 \pm 0.2$  ( $p < 0.01$ ) と上昇した。薬物治療では、すべてにおいて有意差は出なかった。トレッドミル負荷の運動量と API との関係を見ると、API を 0.5 で重症度を分けると運動量で術前 5 Mets (stage III) 以下のものが、術後 5 Mets 以上となり良く相関した。われわれは Bruce 変法によるトレッドミル負荷で stage III 以上に歩行できる症例は薬物療法と運動療法で経過を観察し、歩行できない症例は積極的に血行再建術を行っている。

以上のごとく、ASO における間歇性跛行の重症度や、治療方針の決定、症状の改善度を判定する方法として、トレッドミル負荷指尖容積脈波測定は有用な検査法であると思われた。(日血外会誌 7: 461-467, 1998)

**索引用語**：間歇性跛行，トレッドミル負荷容積脈波，Bruce 変法，閉塞性動脈硬化症

### はじめに

慢性閉塞性動脈硬化症 (ASO) における間歇性跛行の重症度の判定、治療効果の判定には、種々な方法が試みられている。指尖容積脈波測定<sup>1-3)</sup>、Thermography<sup>4,5)</sup>、Doppler 血流測定<sup>6-8)</sup>、ankle pressure index

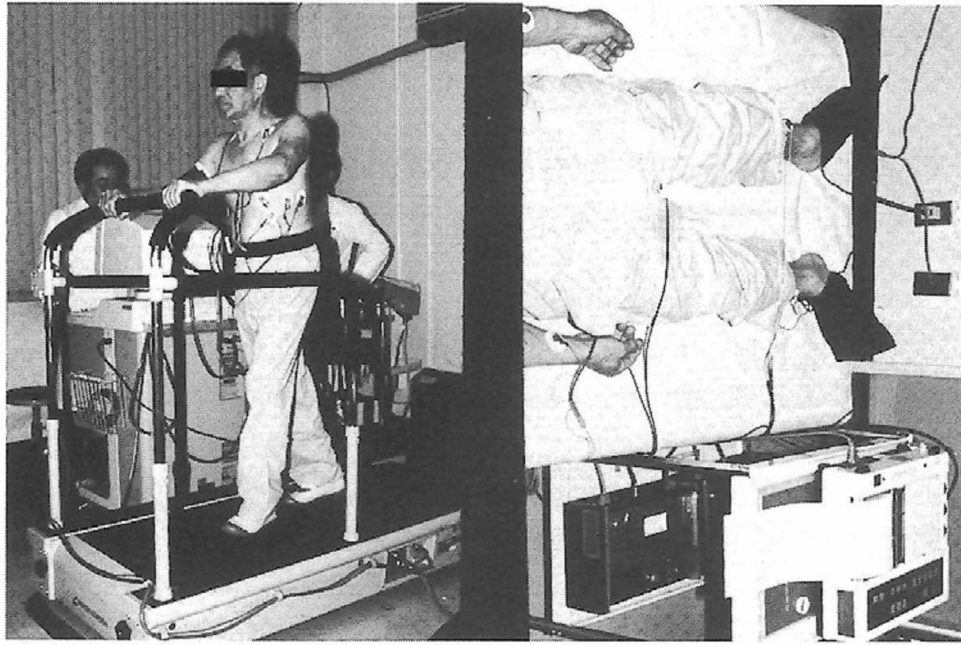
(API) 測定<sup>8-10)</sup>、歩行負荷に加えて経皮的酸素分圧測定<sup>11)</sup>などが行われてきた。また、トレッドミル上を歩行させて各種治療前後の API を測定して間歇性跛行の評価を行っている報告が多くみられる<sup>12-22)</sup>。最近では、近赤外分光法<sup>23-25)</sup>などを組み合わせて判定しようとする試みがなされているが、どれも、決定的な間歇性跛行の評価法とはいいい難いところがある。間歇性跛行は各個人によりその訴えかたに差があり一定しないので、その評価を行うには、客観性に欠ける面が往々にして見受けられるところがある。そこでわれわれは、

東京医科大学霞ヶ浦病院循環器外科 (Tel: 0298-87-1161)

〒300-0332 稲敷郡阿見町中央 3-20-1

受付：1997年8月28日

受理：1998年4月3日



A: トレッドミル負荷。Bruce 変法による。

B: 両側同時に容積脈波を測定。

図 1

客観的に間歇性跛行を捕らえる方法として、トレッドミル負荷と容積脈波測定を組み合わせることで検討したので報告する。

### 対象ならびに方法

対象とした ASO 症例は、歩行可能な Fontaine 分類 II 度・III 度の症例に血行再建術を行い、かつその前後でトレッドミル負荷容積脈波を測定し得た 32 症例・39 肢を対象とした。平均年齢は 64 歳で、男女比は男 29 例、女 3 例で、Fontaine 分類では、II 度：22 症例、III 度：10 症例であった。術式は解剖学的位置に 30 肢、非解剖学的位置に 9 肢の血行再建術を行い、術前・

術後で比較検討した。

方法は心臓に負荷をかけるのと同様に (図 1A) Bruce 変法のプロトコール (表 1) に従い、stage I すなわち、1.6 km/hr、傾斜 0% より歩行を開始し、3 分ごとに stage II、stage III と負荷量をあげてゆき、下肢痛などの症状出現で中止した。この中止時間であるが、中止直後に脈波を測定し、flat wave になっているのもって十分な負荷がかかったと判定した。その中止時間を Mets 数に置き換え術前・術後で比較した。また、負荷中止時の収縮期血圧と脈拍をかけた double product も術前・術後で比較検討した。なお、十分に負荷のかかる症例、また、術後の症状の改善した症例に対して

表 1 Bruce 変法のプロトコール

Exercise Test by Treadmill (Bruce 変法)			
	speed	elevation	Mets
Stage I	1.6 (km/hr)	0 (度)	2.77
Stage II	1.6	10	3.54
Stage III	2.7	10	5.03
Stage IV	4.0	12	6.86
Stage V	5.4	14	9.29
Stage VI	6.0	14	11.3
Stage VII	6.7	16	13.2
Stage VIII	8.0	18	16.1
Stage IX	8.8	20	19.4

歩行のスピードと傾斜による歩行距離を運動量として Mets に置き換えて表現した。

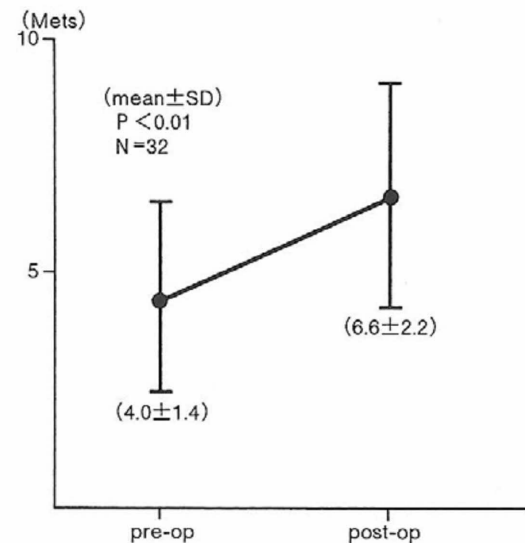


図 2 運動量 (トレッドミル負荷中止時間)

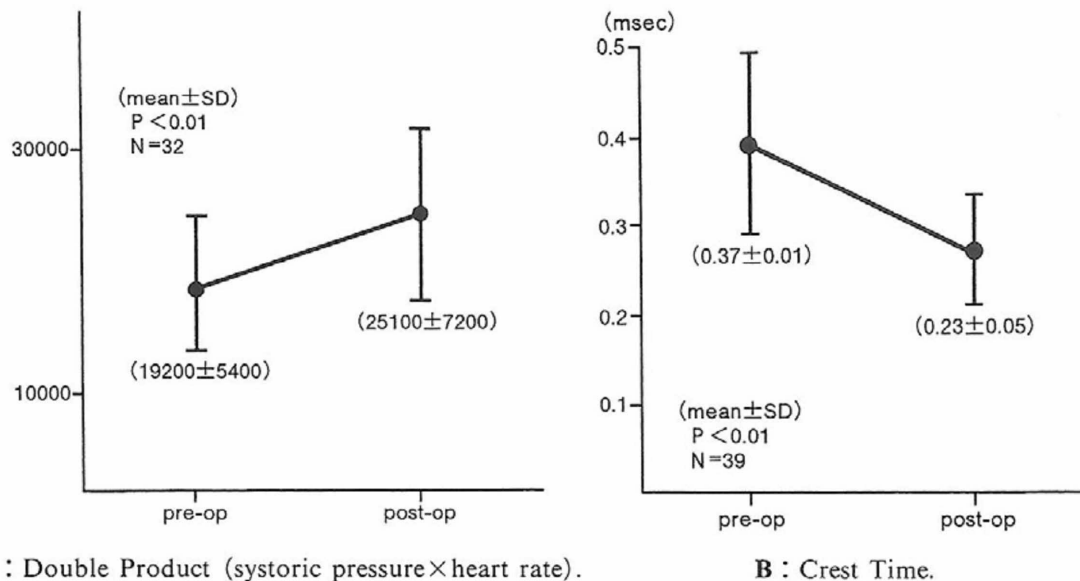


図3

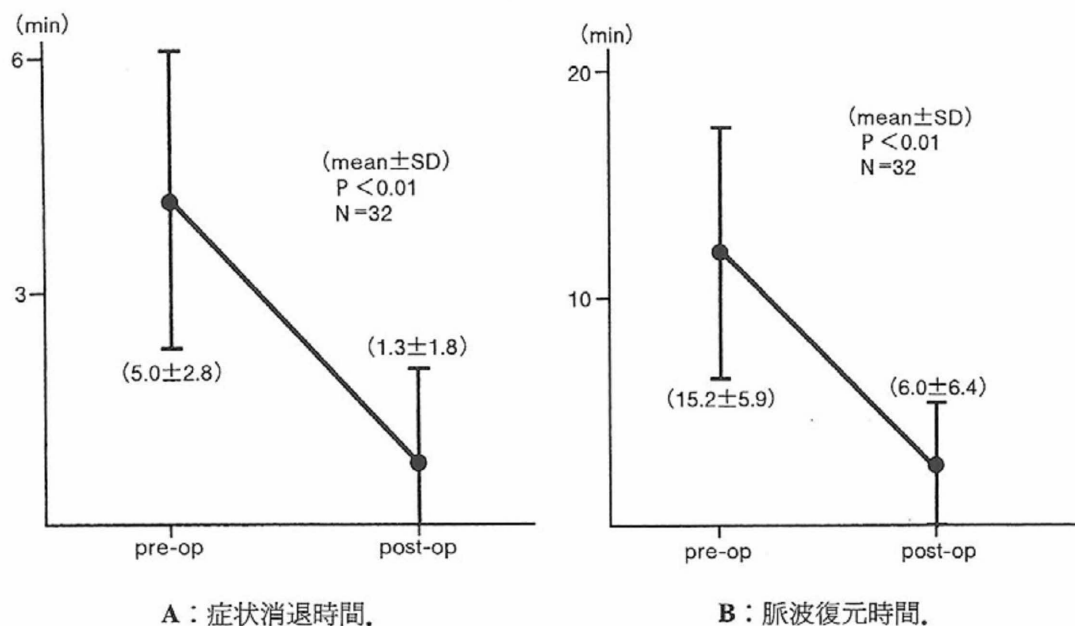


図4

は85%負荷をもって中止とした。

脈波は、両側同時に第1足趾で測定し(図1B)、負荷前の脈波より血流の末梢までの到達時間を表している crest time を計測し、術前・術後で比較した。負荷後は2, 4, 6, 8, 10分と以後は5分ごと脈波が負荷前に戻るまで測定し、脈波復元時間とした。また、負荷後、下肢痛などの症状が消失するまでの時間を測定し症状消退時間とした。これらも術前・術後で比較した。APIも測定し、運動量との関係を比較検討した。

## 結 果

トレッドミル負荷指尖容積脈波測定における、波形で見ると術前の下肢痛などの症状出現による中止直後

の脈波は flat wave となった。この flat wave になることをもって十分なる負荷がかかったと判定し、患者の運動能力の限界および歩行距離の限界とした。術後は下肢疲労などで中止することが多いが中止直後の波形は波高は低くなっているが flat wave にはならなかった。

トレッドミル負荷における中止時間を運動量の Mets に換算すると  $4.0 \pm 1.4$  Mets から  $6.6 \pm 2.2$  Mets と運動量の増加がみられ(図2)、これを stage でみると stage II から stage IV と上昇し歩行距離が延長した。

負荷中止時の double product をみると(図3A)、術前の  $19,200 \pm 5,400$  から術後の  $25,100 \pm 7,200$  ( $p < 0.01$ ) と有意に改善し、血行再建術により運動量の増

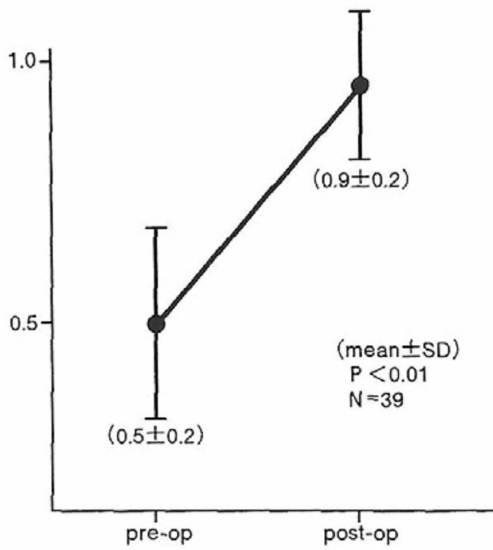


図5 Ankel Pressure Index

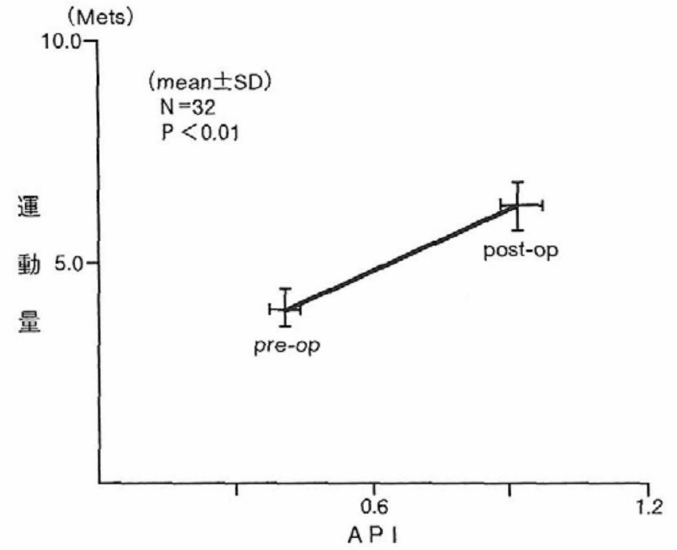


図6 運動量とAPIの関係

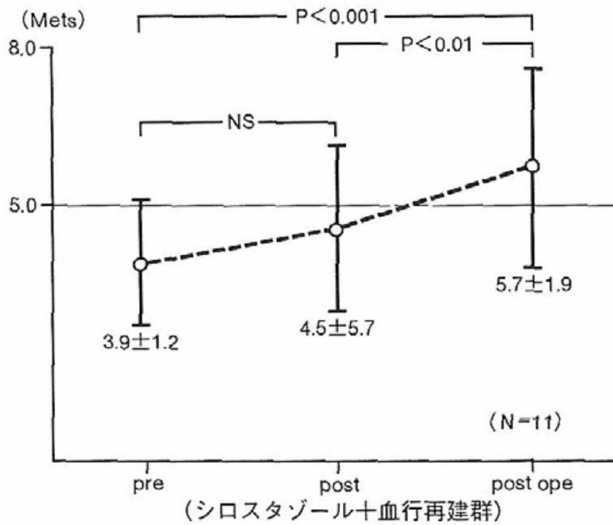


図7 運動量 (トレッドミル負荷中止時間)

加, および, 歩行距離の増加がみられた。

下肢痛などの症状出現で中止し, その症状が負荷後に消失するまでの症状消退時間をみると, これも術前の  $5.0 \pm 2.8$  min から術後の  $1.3 \pm 1.8$  min ( $p < 0.01$ ) と著明に改善した (図4A)。術後の血流が良好になり, 血行再建術の効果が十分であることがわかった。

トレッドミル負荷後に脈波が, 負荷前に戻るまでの時間を測定した脈波復元時間は, 図4Bのごとく術前の  $15.2 \pm 5.9$  min から術後の  $6.0 \pm 6.4$  min ( $p < 0.01$ ) と有意に短縮し血行が良好に改善されたことを示した。

指尖容積脈波より計測した crest time は図3Bのごとく術前  $0.37 \pm 0.01$  sec から術後  $0.23 \pm 0.05$  sec ( $p < 0.01$ ) と改善がみられた。

API も図5のごとく術前  $0.5 \pm 0.2$  から術後  $0.9 \pm 0.2$  ( $p < 0.01$ ) と上昇し著明に改善した。

トレッドミル負荷の運動量とAPIとの関係を見ると, 図6のごとく良好な相関関係にあった。すなわち, 運動量で術前5Mets以下のものが, 術後5Mets以上になり, APIでは術前の0.5以下の症例が術後正常値となり非常に良く相関することより, トレッドミル負荷で, stage III以上歩行できるか, できないかで治療方針を決定することになっている。すなわち, stage III以上歩行できない症例には, 血行再建術を選択し, 歩行できる症例には, 薬物療法と運動療法により follow-up を行っている。

図7は同一11症例にシロスタゾールを4~6週間投与し, その後血行再建術を施行した症例の運動量を示したものであるが, シロスタゾール投与前後ではやや増加傾向にはあるが, 統計学的有意差はみられない。血行再建術後は有意に改善した。

図8は, 血行再建群を解剖学的位置と非解剖学的位置にバイパスした群に分け, また, EPA (イコサペント酸エチル) 製剤を3ヵ月間, シロスタゾール, ペラプロストナトリウム, をそれぞれ4~6週間投与した群とでトレッドミル負荷による運動量を示すが, 解剖学的位置の血行再建群では, 有意に改善した。非解剖学的位置のバイパス群, 薬剤使用群では有意差はなかった。非解剖学的位置にバイパスした群の運動量の改善に有意差がないのは, 病態の重篤さ, 病期期間の長さによる運動能力の低下が術後にまで及んでいるものと思われる。

われわれの施設で follow-up でき血行再建術を施行した症例の運動量の経過では, 術後著明に改善し, そ

の後もやや増加傾向にあり満足する効果が得られた。

## 考 察

慢性動脈硬化症 (ASO) の重症度の判定に従来より Fontaine 分類が用いられ、その中間歇性跛行は患者自身の訴えによるものであって、客観性に乏しく定量的に判定困難であった。そこで ASO の重症度の判定ができ、治療方針の決定の指針となり、また、治療効果判定の指針となる検査法が種々検討されてきたが未だこれといった方法が示されていない。

古来より ASO の重症度の判定は、容積脈波測定<sup>1-3)</sup>、患者の訴える歩行距離測定<sup>3)</sup>、皮膚温測定、Thermography<sup>4,5)</sup> によりなされ、最終的には血管造影で決定していた。しかし、血管造影は閉塞部位、副血行路、run off の状態をよく現してくれるが、反復検査としてはふさわしくない。また、他の検査も決定的な検査とはいえない。これに加えて、Doppler 血流測定<sup>7)</sup>、経皮的酸素分圧測定<sup>11)</sup>、API 測定<sup>12)</sup>、トレッドミルによる歩行能力測定<sup>12)</sup>、近赤外線分光法<sup>23-25)</sup> を利用しての判定などがなされているが、これらも単独では決定打とはなり難い。そこで、エルゴメーターによる運動負荷と超音波ドップラー法を組み合わせる方法<sup>7)</sup> とか、最近では、トレッドミル負荷と他の検査法とを組み合わせるより正確な ASO の重症度の判定を試みようとしている。また、ASO の症状の中間歇性跛行の客観的定量化をしようとする検査法の確立を目指して検討が行われている。

Strandness ら<sup>12)</sup> により始められた一定速度、一定勾配のトレッドミル負荷と API の測定で、ASO の重症度、治療効果の判定を行っている報告は多数あるが<sup>13-15,16-18,20,22)</sup>、客観的な指標になりうるが、定量的指標にはならない。また、トレッドミルで歩行の速度や歩行時間を変化させて API の下降、その回復時間で中間歇性跛行肢の定量化をしている報告もある<sup>19)</sup>。

中間歇性跛行は患者の訴えであり、かつ、それぞれの症例により疼痛閾値が異なるので一定速度での歩行では、その値が定量的であるかは不明である。また、検査時の自然環境、患者のその日の精神状態などにより正確さに欠けることが見受けられた。そこでわれわれは、トレッドミル負荷を心臓の負荷を行うのと同様に Bruce のプロトコールの変法に従って、stage I より歩行を開始し下肢痛などの症状出現で中止とした。その中止時の両側同時の脈波測定で患肢が flat wave にな

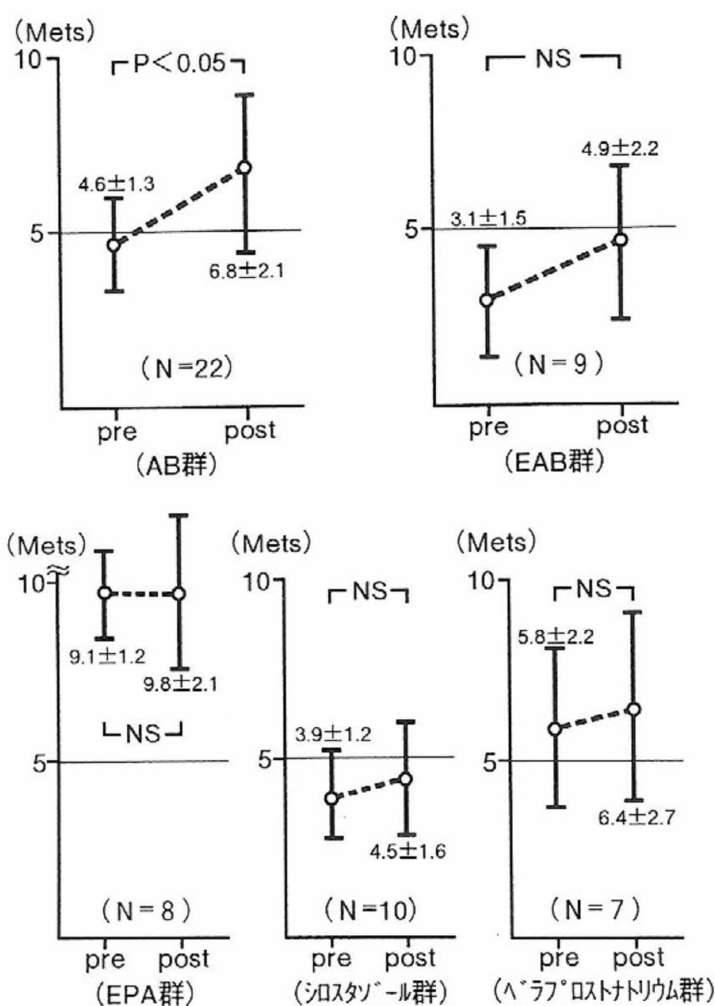


図8 運動量 (トレッドミル負荷, Bruce 変法)  
 AB群: anatomical bypass 群.  
 EAB群: extraanatomical bypass 群.  
 EPA: イコサペント酸エチル.

っていることをもって十分な負荷がかかったとし、それを Mets 数に置き換えてその患者の運動量、および歩行能力とした。これを血行再建術前後で比較すると著明に有意さがみられ、その効果の判定に有用であった。この Mets 数は負荷前に測定した API とも良好な相関関係にあり、歩行能力の定量的指標になるのではないかと思われた。本研究では、API 0.5 以下の症例はほとんどがトレッドミル負荷で stage III すなわち、5 Mets 以下の運動量であった。API 0.5 以上の症例は stage III 以上の歩行ができた。また、血行再建術を施行した症例は全例 5 Mets 以上に改善した。よって、われわれの施設では、トレッドミル負荷で stage III すなわち、5 Mets 以下の運動量の症例は血行再建術を含む何らかの外科的処置を行うことにしている。確実にそれ以上にできる症例には、運動療法、薬物療法を行うことと同時に測定した脈波復元時間、症状消退時間は

run offの状態, 副血行路の状態の把握に有用であった。

近年, ASOの薬物治療の効果判定にトレッドミル負荷とAPI測定を組み合わせ判定を行ったり<sup>20-22)</sup>, 近赤外分光法<sup>23)</sup>とを組み合わせ客観的かつ定量的に評価を行おうとされているが, まだ, 十分な検査法とはいえない。われわれが行ったトレッドミル負荷に容積脈波測定を組み入れ, Bruce変法のように徐々に運動量を上げていく方法により, その運動量をもって定量的に判断できるのではないかと思われた。

## 結 語

1. トレッドミル負荷容積脈波測定法は, 間歇性跛行の重症度の定量的判定に有用であった。
2. 本検査は, 外科的治療法の定量的効果判定に有用であった。
3. 薬剤による間歇性跛行の効果判定には, やや, 改善傾向がみられたが, 統計学的有意差はみられなかった。
4. 外科的治療後のfollow-upに有用であった。

## 文 献

- 1) 三島好雄: 閉塞性動脈疾患と脈波. 現代医療, **4**: 1097-1101, 1972.
- 2) 関 清: 末梢脈波. 指尖容積脈波, **32**: 279-284, 1974.
- 3) 佐々木久夫, 佐藤吉明, 前山俊秀: 末梢循環障害における皮膚阻血症状について一皮膚阻血回復時間の測定とその評価一. 脈管学, **20**: 873-878, 1980.
- 4) Winsor, T. and Winsor, D.: The noninvasive laboratory: History and future of thermography. Inter. Angio., **4**: 41-50, 1985.
- 5) 近藤潤次: 下肢慢性動脈閉塞症の末梢循環に関する研究一Thermographyによる下肢末梢循環不全の評価一. 脈管学, **28**: 1125-1132, 1988.
- 6) Waters, K. J., Chamberlain, J. C. and McNeill, I. F.: The significance of aortoiliac atherosclerosis as assessed by Doppler ultrasound. Am. J. Surg., **134**: 388-391, 1977.
- 7) 臼井由行: 超音波ドップラー法による下肢閉塞性動脈疾患の血行動態に関する研究一とくに運動負荷試験の有用性について一. 脈管学, **24**: 469-478, 1984.
- 8) 内野 敬: 足関節血圧と下腿血流量同時測定による血行動態評価. 脈管学, **29**: 65-70, 1989.
- 9) Yao, S. T., Hobbs, J. T. and Irvine, W. T.: Ankle systolic pressure measurement in arterial disease affecting the lower extremities. Brit. J. Surg., **56**: 676-679, 1969.
- 10) 柘岡 進, 下村忠朗, 安藤嗣彦他: 慢性下肢動脈閉塞症におけるAnkle Pressure(足関節部血圧)に関する研究. 脈管学, **18**: 271-276, 1978.
- 11) 応儀成二, 伊藤勝朗, 岡田 実他: 経皮的酸素分圧測定法を応用した間歇性跛行の客観的評価に関する研究. 脈管学, **26**: 1247-1253, 1986.
- 12) Strandness, Jr. D. E. and Bell, J. W.: An evaluation of the hemodynamic response of the claudicating extremity to exercise. Surg. Gynecol. Obstet., **119**: 1237-1242, 1964.
- 13) Ouriel, K., McDonnell, A. E., Metz, C. E. et al.: A critical evaluation of stress testing in the diagnosis of peripheral vascular disease. Surgery, **91**: 686-693, 1982.
- 14) Harris, K. A. and Meads, G. E.: A single treadmill test does not accurately quantitate claudication. Can. J. Surg., **30**: 446-448, 1987.
- 15) Sehested, J., Bill, S. and Hauge, P.: Assessment of a standard exercise test in peripheral arterial disease. J. Cardiovasc. Surg., **28**: 520-523, 1987.
- 16) 太田 敬, 加藤量平, 倉橋忠司: 間歇性跛行肢の定量的評価. 厚生省特定疾患系統的脈管障害調査研究班1987年度研究報告書, pp. 149-151.
- 17) 藤原靖之, 堀口泰良, 土田博光他: ASO血行再建術後の評価法について. 日心外会誌, **18**: 417-421, 1988.
- 18) Gardner, A. W., Skinner, J. S., Vaughan, N. R. et al.: Comparison of three progressive exercise protocols in peripheral vascular occlusive disease. Angiology, **43**: 661-671, 1992.
- 19) 杉本郁夫, 太田 敬, 加藤量平他: 足関節血圧比(API)の回復過程からみた間歇性跛行肢の定量的評価. 脈管学, **32**: 729-735, 1992.
- 20) 瀬山厚司, 古谷 彰, 竹中博昭他: 間歇性跛行症状評価に対するトレッドミル運動負荷法の有用性一Lipo PGE<sub>1</sub> one shot 静注の効果一. 日心外会誌, **21**: 54-58, 1992.
- 21) 太田 敬, 杉本郁夫, 飛田研二他: 間歇性跛行に対する運動療法と薬物療法一血行動態からみた歩行能力改善の予測一. 脈管学, **35**(7): 429-

- 435, 1995.
- 22) Belch, J. J. F., Bell, P. R. F., Creissen, D. et al. : Randomized, double-blind, placebo-controlled study the evaluating the efficacy and safety of AS-013, a prostaglandin E<sub>1</sub> prodrug, in patient with intermittent claudication. *Circulation*, **95** : 2298-2302, 1997.
- 23) 小宮山高士, 重松 宏, 安原 洋他 : 下肢閉塞性動脈硬化症に対する薬物判定—近赤外分光法による客観的薬効評価法—。脈管学, **35** : 181-187, 1995.
- 24) 市来正隆, 大内 博 : 近赤外分光法を臨床応用した間歇性跛行肢の重症度評価法。脈管学, **35** : 53-59, 1995.
- 25) 国原 孝, 明神一宏, 佐久間まこと他 : 近赤外分光法による閉塞性動脈硬化症の新しい術前術後評価—特に Occlusion test の有用性について—。日血外会誌, **5** : 541-548, 1996.

## Plethysmography with Treadmill Exercise for Evaluation of Intermittent Claudication

Yasuyuki Fujiwara, Akira Hakoshima, Hiromi Akutsu,  
Hiromi Yano, Hisahito Takae and Yoshiya Hisada

Department of Cardiovascular Surgery, Tokyo Medical College Kasumigaura Hospital

**Key words** : Intermittent claudication, Treadmill exercise, Plethysmography, Modified Bruce method, Arteriosclerosis obliterans

Plethysmography during treadmill exercise was performed in 32 patients with 39 lower legs with intermittent claudication to evaluate its usefulness in terms of evaluating the degree of intermittent claudication and determining parameters before and after arterial reconstruction. The preoperative crest time of the plethysmogram improved from  $0.37 \pm 0.01$  sec to  $0.23 \pm 0.05$  sec ( $p < 0.01$ ). Pulse wave in the inferior limbs became flat in all patients immediately after discontinuation of treadmill exercise owing to preoperative inferior limb pain. Time of discontinuation treadmill test rose from stage II preoperatively to stage IV postoperatively. Exercise tolerance increased from  $4.0 \pm 1.4$  Mets to  $6.6 \pm 2.2$  Mets ( $p < 0.01$ ). Double products of systolic blood pressure and pulse rate also increased from  $19,200 \pm 5,400$  to  $25,100 \pm 7,200$  ( $p < 0.01$ ). Release time of post-treadmill-exercise symptoms was shortened from  $5.0 \pm 2.8$  min to  $1.3 \pm 1.8$  min ( $p < 0.01$ ). Pulse-wave-restored time was also shortened from  $15.2 \pm 5.9$  min to  $6.0 \pm 6.4$  min ( $p < 0.01$ ). Exercise tolerance on the treadmill test correlated well with API. We regard arterial reconstruction to be indicated in the following patients : those who had API below 0.5 and those who were below stage III in treadmill exercise (by modified Bruce method), that is, not being able to clear 5 Mets in exercise tolerance.

The findings of the study suggested that plethysmography under treadmill exercise is useful examination method to assess the severity of intermittent claudication, decide therapeutic policy, and evaluate symptom improvement in ASO patients. (*Jpn. J. Vasc. Surg.*, **7** : 461-467, 1998)