

間歇性跛行肢に対する機能的評価と近赤外線分光法を利用した効率的な歩行運動療法

市来 正隆

要 旨：間歇性跛行肢の機能的評価は未だ一般的ではない。近赤外線分光法は虚血筋の酸素代謝を客観的に重症度評価ができる。初期治療として推奨されている運動療法において、十分な負荷がかかる運動とは何かを知るために近赤外線分光法を利用して検討した。その結果、平地の通常歩行よりも早足、早足よりも坂道、坂道よりも階段の順で強度がかかりやすいことが判明した。これらの運動を取り入れることで歩行運動療法が効果的になると考えた。

(J Jpn Coll Angiol, 2010, 50: 449-454)

Key words: peripheral arterial disease, intermittent claudication near infrared spectroscopy, treadmill test, strength of exercise

はじめに

閉塞性動脈硬化症(ASO, または PAD, 以下 PAD)は生活の質(QOL)を低下させる機能的疾患である。PADの主症状は間歇性跛行であり、特徴的な症状を呈するにもかかわらず、間歇性跛行肢の機能的評価は未だ一般的ではない。PADの統一ガイドライン(TASC)において運動療法を初期治療の一環として推奨¹⁾したことにより、間歇性跛行肢の機能的評価である歩行負荷 ABI 測定や近赤外線分光法の意義が増したと考えている。今後、欧米にならって本邦でも歩行運動療法が積極的に取り入れられると考えられるが、在宅運動療法よりも監視下運動療法の方が有効といわれている²⁾。一口に運動療法といっても負荷強度によって治療効果に違いが生じることが予想される。本邦において施行されている間歇性跛行肢に対する機能的評価法の要点を述べた後に、運動負荷の強度の違いによる近赤外線分光法の機能的応答を観察することで、具体的で効率的な運動療法を提示できるかを論じた。

間歇性跛行肢に対する機能的な検査方法

1)トレッドミル検査と ABI 測定

TASCでは間歇性跛行肢に対する評価法にトレッドミル検査を推奨している。容易に定量化ができるが主観的要因の関与は否めない。本邦ではトレッドミルは12%勾配、2.4 km/hで設定するのが一般的である。安静時 ABI は PAD の重症度評価として基本的なものであり、まずはルーチンに測定すべきものである。従来は、血管診療を専門とする医師がドップラ血流測定装置で ABI 測定をしていたが、四肢自動血圧脈波測定装置が開発されてからは実地医家でも簡単に ABI が測定可能となった。TASC の PAD の診断アルゴリズムでは、50 歳以上で喫煙や糖尿病を有している、あるいは 70 歳以上の高齢者で下肢症状のある PAD を疑われるケースでは ABI 検査を推奨し、ABI 値が 0.9 未満は PAD と診断する。0.9 以上でも PAD の疑いがある場合は PAD の虚血肢では歩行負荷後には ABI は低下し、しばらくすると安静時の ABI に復することが観察されることを利用する。トレッドミル検査を併用することで PAD 存在の有無ばかりでなく、跛行肢の客観的な重症度を表す機能的検査になる³⁾。

トレッドミルの歩行距離設定には40 mもあれば100 mとするものもある。いずれにしろ負荷がかかりABIの低下が観測できればよいが、ABIが安静時の値まで回復する時間が間歇性跛行肢の機能的重症度を評価しているので歩行距離は一定にしたほうがよい。この回復時間を測定するのに従来からのドプラ血流測定装置は上肢と下肢の血圧を別々に同時に測定しなければならず人手が必要で煩雑であるのが、機能的評価の普及の妨げとなったと考える。しかし四肢自動血圧脈波測定装置の出現で簡便となった。太田らは40 m歩行負荷で回復時間が12分以上の患者では保存的療法に多くは期待できないとして間歇性跛行肢の機能的評価をしている⁴⁾。しかしわれわれの施設では四肢自動血圧脈波測定において間歇性跛行のPAD患者の16%が安静時ABI値を測定できない。このようなケースでは歩行負荷ABI測定による機能的評価ができないことになる。

2)トレッドミル検査と近赤外線分光法

もう一つの客観的かつ機能的な評価法はトレッドミル検査と近赤外線分光装置の組み合わせである。近赤外光は700~2,500 nmの波長の光である。医用近赤外線分光法は組織透過性の優れた700~1,300 nmの波長域を利用することで、生体の酸素化状態を簡便に無侵襲かつ連続的にモニター可能である。歩行運動による筋肉の酸素消費量の増大が起きるとこの酸素需要に対して筋肉は血流量の増大か、流入してきた血液から酸素をより多く摂取することで対応しようとする。歩行負荷での酸素需要の増大に対して、健康人では通常の歩行負荷では5~10倍の血流量の増大で対応するが、病的血管になっている間歇性跛行肢では血流量の不足により2~3倍程度の増加にとどまる。このために間歇性跛行肢では不足分の酸素需要をまかなうために筋肉内の血液から酸素摂取を増大することで対応しようとする。このときの筋肉組織内の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの変化を計測するのが近赤外線分光法である^{5,6)}。健康者では歩行負荷による酸素需要増大に血流量増大で対応できるため、ヘモグロビンの酸素化状態に相対的変化を生じない。よって近赤外線分光法では歩行負荷前、中、後ともに酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン量に変化はなく基線にそって推移する(Fig. 4のエルゴメータ参照)。一方間歇性跛行肢では酸素需要増大に血流量増大で対応できないため筋肉内に流入してきた乏しい血液から多くの酸素を摂取しようとする。このために歩行負荷によ

り酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンは基線からそれぞれ低下、増加し乖離する変化を示す。歩行運動後から酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンが最初に収束するまでの時間が虚血の重症度を反映している。この時間を回復時間(recovery time)と称して虚血重症度を定量評価している。なお、われわれは研究の当初は、回復時間といっても症状の回復を示した時間ではないので区別して収束時間と呼んでいた。この検査でも測定部位や負荷の軽重によって測定値は影響されるため、一定の条件に設定しておく必要がある。一般には負荷のかかりやすい腓腹部にプローブをあてて測定し、トレッドミル歩行条件は速度を2.4 km/h、傾斜12%、100 m(2.5分間)で設定する。臨床研究当初は安全を考えて速度は2.0 km/hであったが、最近では国内の標準である2.4 km/hとしている⁷⁾。最大歩行距離(absolute claudication distance; ACD)を測定する場合はトレッドミルの条件は同一にして十分な時間をおいてから別個に検査する。なお、ACDも同時に測定したい場合には回復時間と歩行運動した時間を測定し、回復時間/総運動時間比(recovery ability index; RAI)を求めて評価する。ACDを求めめるためには傾斜や速度を徐々に上げていくGardner法が再現性がよいとされるが、近赤外線分光法検査が簡便なだけにトレッドミルが複雑な条件設定になると本法のメリットが損なわれる懸念がある。なお、Gardner法と近赤外線分光法の応答の違いについては後述する。このように近赤外線分光法は、簡便で客観的に間歇性跛行肢の機能的評価が可能であり、重症度分類や薬物治療の効果判定に有用である^{8,9)}。

各種歩行負荷による近赤外線分光法の応答の違い

間歇性跛行患者に運動療法を指導する際に効率のよい運動療法を提示できればよいと思われる。効率のよい運動療法といっても、まずは患者個々の地域環境や日常生活に合わせる事が基本であろう。そのうえで20~30分の短時間の運動でも下肢筋肉に十分な強度がかかり安全に施行できることが望まれる¹⁰⁻¹²⁾。患者の生活環境に合った運動の中で一番に負荷がかかる運動が効果的と予想されるからである。そこで平地と坂道、スピードの違いの影響、坂道と階段、歩行と自転車について近赤外線分光法の応答の違いを検討した。まずは平地で早く歩くのと坂道を普通に歩くことの違いを知るために、Gardner法を前者とし、近赤外線分光法検査で設定されるトレッ

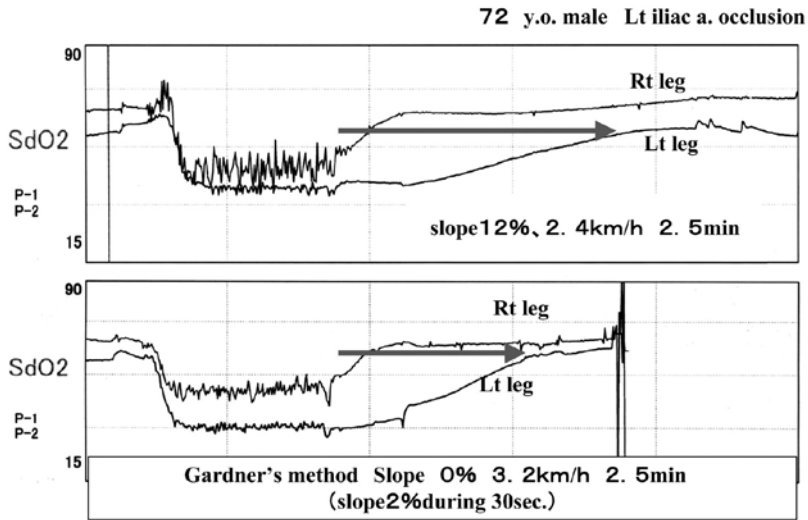


Figure 1 Comparison between Gardner's method and 12% slope walking.

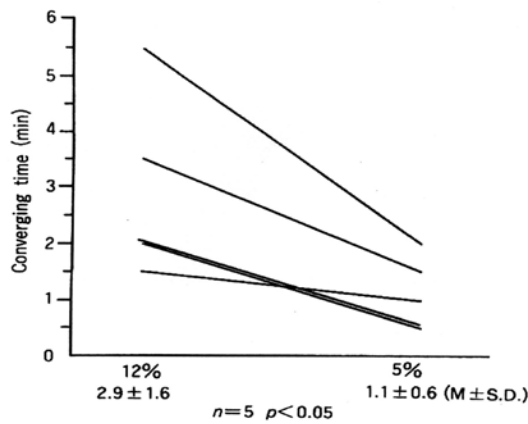


Figure 2 Comparison between 5% slope and 12% slope walking.

ドミル条件(通常法)を後者として比較すると平地を早く歩くよりも坂道を登る方が負荷はかかりやすいという結果が得られた(Fig. 1)。次に坂道の傾斜の違いの想定として、トレッドミルの傾斜5%と12%の2.0 km/h、100 m(3分間)の歩行で比較した。全例で12%傾斜の回復時間が延長し、傾斜が強いと負荷強度も強いことを示した(Fig. 2)。さらに坂道と階段の負荷量の違いを知るために、トレッドミル検査とダブルマスター試験(回数表に準じ、同じく3分間の運動)を階段に見立てて比較した。全例でダブルマスター試験において回復時間が延長した(Fig. 3)。

同条件下のトレッドミル検査と自転車に見立てたエルゴメータ検査(ペダル重1.0 kg、仕事量40~45 Watt、3分間)の比較では、エルゴメータ検査では1例を除いて酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンは基線を推移し、下腿筋に虚血を生じなかった(Fig. 4)。以上、まとめると早足で平地を歩くよりも遅くても坂道、さらには傾斜の強い坂道、そして坂道よりも階段のほうが歩行強度が大きくなった。また自転車では下腿筋への負荷がほとんどかからないことが判明した。この結果から運動療法を効果的に進めるためには、早足での歩行や勾配のある

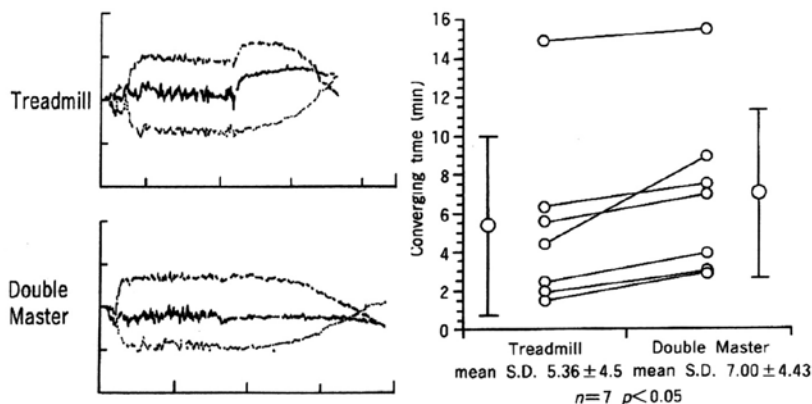


Figure 3 Comparison between treadmill and double master's test.

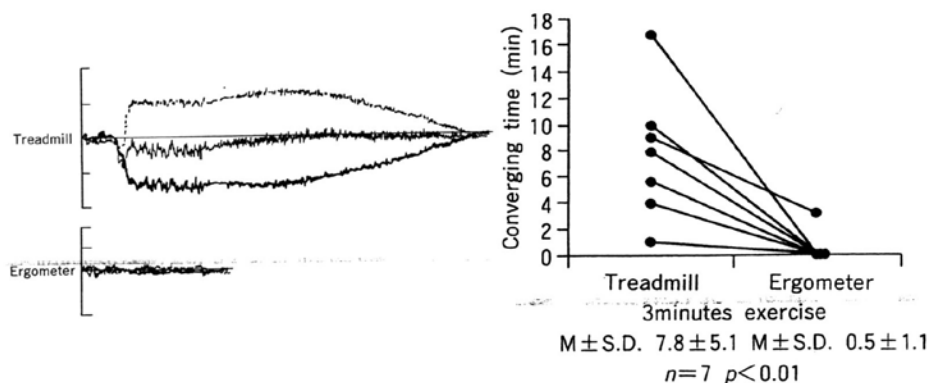


Figure 4 Comparison between treadmill and ergometer.

坂道、そして階段の登りなどの歩行負荷が十分にかかるインターバル練習がよいと考え、患者には通常の平地歩行に加えてこれらの運動療法を交えるように勧めている。この強い負荷がかかる階段昇降に PGE₁ 製剤を併用して運動療法を工夫している報告もある¹³⁾。

運動療法の効果判定

TASC では 6 か月以上の運動療法を推奨しているが、その効果を早めに知ることができれば患者のみならず医療側の負担の軽減に繋がり、また患者の運動療法に対するモチベーションも上がると考える。そこで PAD 患者 13 名に 3 か月間の運動療法を施行して、ACD や ABI、そして近赤外線分光法での回復時間の測定で評価した。その結果を Fig. 5, 6, 7 に示した。2 週間の監視下運動

療法後に在宅運動療法を加えた約 3 か月間の運動療法では ABI は変化が認められなかったが、ACD の軽度の延長と近赤外線分光法では収束(回復)時間の短縮を認めた。とくに近赤外線分光法での客観的評価での改善は、その後の運動療法の励みになると思われる。ちなみにその後の間歇性跛行肢の在宅運動療法では、遠隔期における近赤外線分光法の評価では 1 年 6 か月の中期中で軽快 59%、不変 31%、悪化 10% であり、比較的良好な結果であった。しかし遠隔期になると不変 78% となり、症状は安定していたものの運動療法初期のような明らかな改善は期待できない結果であった。運動療法の効果が遠隔期にも持続することは報告^{14, 15)}されているが、2 年ぐらいの在宅運動療法であまり満足できない患者に対しては、他の治療法も再考したほうがよいと考えている。

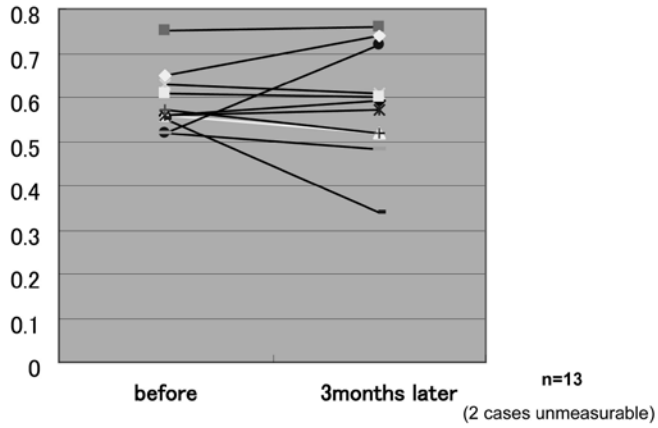


Figure 5 Changes in ABI after walking exercise.

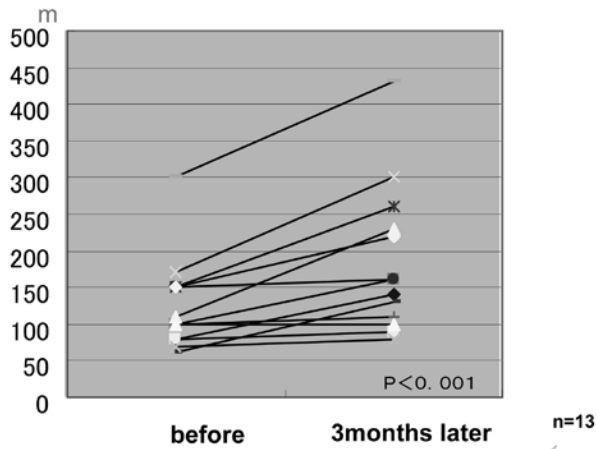


Figure 6 Change in ACD after walking exercise.

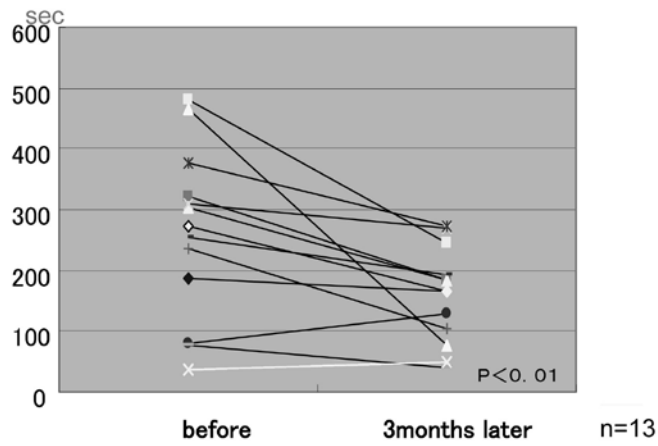


Figure 7 Change in converging time of NIRS after walking exercise.

おわりに

近赤外線分光法は約15年前から臨床応用された新しい無侵襲検査法である。簡便に無侵襲かつ連続的にモニターして、PADの主症状である間歇性跛行の虚血筋酸素代謝の病態を客観的かつ機能的に重症度評価ができる。またPADに対しては運動療法が推奨されているが、十分に強度のかかる運動療法の提示や治療効果判定にも近赤外線分光法が有用である。

文 献

- 1) Management of Peripheral Arterial disease (PAD). Trans-Atlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg*, 2000, **31**: 80–99.
- 2) Regensteiner JG, Steiner JF, Hiatt WR: Exercise training improves functional status in patients with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg*, 1996, **23**: 104–115.
- 3) 杉本郁夫, 太田 敬, 加藤量平: 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*, 1992, **32**: 729–735.
- 4) 太田 敬, 杉本郁夫, 飛田研二: 客観的評価に基づいた間歇性跛行の治療の重要性. *日血外会誌*, 1998, **7**: 455–460.
- 5) Komiyama T, Sigematu H, Yasuhara H et al: An objective assessment of intermittent claudication by near-infrared spectroscopy. *Eur J Vasc Surg*, 1994, **8**: 294–296.
- 6) 市来正隆, 大内 博: 近赤外線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*, 1995, **35**: 53–59.
- 7) 市来正隆: NIRS(近赤外線分光法). 血管無侵襲診断の実際, 文光堂, 東京, 2001, 136–141.
- 8) 小見山高士, 重松 宏, 安原 洋 他: 下肢閉塞性動脈硬化症に対する薬効判定. *脈管学*, 1995, **35**: 181–186.
- 9) 市来正隆, 大内 博, 蔡 景襄 他: 近赤外線分光法による間歇性跛行肢の評価と治療方針. *日血外会誌*, 1998, **7**: 485–490.
- 10) Labs KH, Nehler MR, Roessner M et al: Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: a comparison of a constant load with a graded load treadmill protocol. *Vascular Medicine* 1999; **4**: 239–246.
- 11) Hiatt WR: Medical treatment of peripheral arterial disease and claudication. *N Engl J Med*, 2001, **344**: 1608–1621.
- 12) Gardner AW, Poehlman ET: Exercise rehabilitation programs for the treatment of claudication pain. *JAMA*, 1996, **274**: 976–980.
- 13) 井隼彰夫, 千葉幸雄, 木村哲也 他: 間歇性跛行肢に対するLipoPGEI併用マスター2段階運動療法の試み. *外科治療*, 2001, **84**: 131–133.
- 14) Williams LR, Ekers MA, Collins PS et al: Vascular rehabilitation: Benefits of a structural exercise/risk modification program. *J Vasc Surg*, 1991, **14**: 320–326.
- 15) 杉本郁夫, 太田 敬, 加藤真彦: 間歇性跛行肢に対する運動療法. *脈管学*, 1997, **37**: 903–907.

Does Near Infrared Spectroscopy Reveal the Strength of Exercise that is Efficient for Intermittent Claudication?

Masataka Ichiki

Department of Vascular Surgery, Sendai Hospital of East Japan Railway Company, Miyagi, Japan

Key words: peripheral arterial disease, intermittent claudication, near infrared spectroscopy, treadmill test, strength of exercise

Since 1995, near infrared spectroscopy (NIRS) has been clinically applied to vascular claudication of PAD in Japan. NIRS is a new effective method of noninvasive functional assessment, but it is not practical for world-wide use. This method is easier and more accurate than ankle brachial arterial index measurement in treadmill exercise. Walking exercise is recommended in TASC as the initial treatment for patients with claudication. So, by NIRS, we studied which kinds of exercise were suitable for conservative therapy of intermittent claudication. We achieved the results that walking at a quick pace, climbing a slope, and going up a flight of stairs in that order gave loads to affected legs of PAD patients. Submaximal workloads would provide the advantage of increasing walking distance. (*J Jpn Coll Angiol*, 2010, **50**: 449–454)

Online publication October 8, 2010

脈管学 Vol. 50, 2010