

運動負荷テストの現状と展望

— 虚血性心疾患における運動負荷テスト —

大阪赤十字病院心臓血管センター

神原 啓文

1. はじめに

運動負荷テストは、虚血性疾患の診断、重症度評価、治療効果と予後の判定、さらにはリハビリテーションの運動処方において必要不可欠となっており、日常臨床において頻繁に施行されている。運動負荷テストは単独で行われることもあれば、種々の検査手段と組み合わせて用いられることもある。今回は、虚血性心疾患における運動負荷テストの意義とその問題点について述べる。

2. 虚血性心疾患の病態

虚血性心疾患の本態は、心筋酸素需給のアンバランスによって心筋に酸素不足の生じた状態である。

心筋の酸素需要は心拍数と心筋壁張力および収縮力によって規定される。後2者の指標は臨床的に容易に得られるものではないため、代わって収縮期血圧ないし平均血圧（拡張期血圧＋脈圧×1/3）が用いられている。一方、酸素の需給は冠血流量と冠動・静脈酸素較差によって決定される。しかし、冠動・静脈酸素較差は安静時において、すでに40%と大きく、それを2倍以上に増加させることは出来ない。従って、10倍以上にも増加する酸素需要を賄うには、冠血流量を増加して対応せざるを得ない。すなわち、運動により心筋酸素消費量が増加すると、それに伴って心筋の冠血流量が増大するが、冠動脈に狭窄があると頭打ちとなり、それ以上の血流量増大が得られず、心筋は虚血になる。（図1）

その原因の大部分は、冠動脈硬化に基づく器質的冠狭窄病変であるが、冠動脈の一過性スパズムが要因となる場合もある。実際には、両者の因子が種々に組合わさって病態を形成することが多い。

ところで冠動脈硬化の進展あるいは冠スパズム発生（endothel-derived relaxing factor）の機序において、血管内皮の果たす役割は大きい。正常な血管内

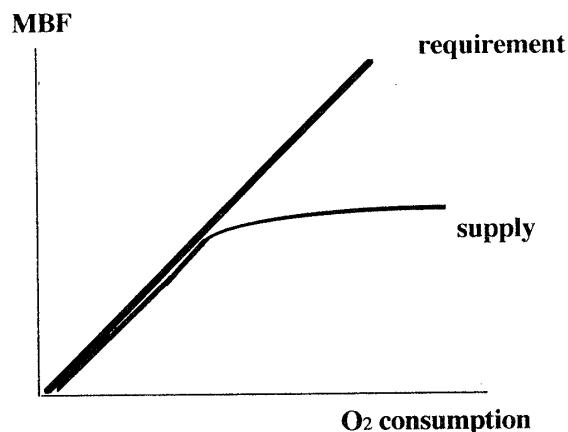


図1 酸素消費量と心筋血流（MBF）の関係
酸素消費量の増加に従って、酸素需要すなわち MBF はほぼ直線的に増大するが、冠狭窄があると、MBF は頭打ちとなり、両者と乖離を生じる。

皮はヒスタミン、アンギオテンシン、バゾプレッシン、セロトニンなどの血管作動性物質の刺激を受けると、EDRF や PGI₂ を産生し、血管平滑筋を伸展する。しかし血管内皮が傷害を受けると、上記の物質は直接平滑筋に作用し収縮作用を示す。冠動脈硬化は血流による shear stress と共に、血管内皮を傷害する重要な要因である。

3. 運動負荷と冠動脈血管径

運動負荷の禁忌事項は AHA, WHO の基準に示されているが、各種の急性疾患、重篤な心肺疾患、完全房室ブロックなどである。相対的な禁忌は、全身性の重症疾患、重度身体障害者、頻発する不整脈、固定レート型ペースメーカーなどが挙げられる。運動を行うと、心筋レベルでは、ATP が消費され、その結果 adenosine が産生される。Adenosine は強力な血管拡張物質で、正常冠動脈では著しい血管拡

張作用を示す。しかし、狭窄を有する冠血管では、機序はまだ充分明らかになっていないが、むしろ運動によって冠動脈径が縮小する¹⁾と報告されている(図2)。このような血管の収縮反応は、運動時にみられる心筋虚血発生のもう一つの機序として注目される。

4. 運動負荷試験の判定

運動負荷試験は虚血心の診断、心機能の測定、不整脈の検査、治療効果の測定、運動処方などのために行われることは前述の通りであるが、とくに運動前のメディカルチェックにおいて最も重要な検査である。その評価には、症状、心拍数や血圧の測定、運動耐容時間、心電図の他に、心エコー、アイソトープ法ないし心室造影法による血行動態的検査、あるいはアイソトープによる心筋血流分布の検査などが用いられる。

自覚症状の評価には、通常Borgスコアが簡便で有用である。このスコアは、主観的な指標ではあるが、同一症例では反復性が期待できる。心拍数や血圧は、運動量の増加と共に漸増する。通常、体酸素消費量は心拍数と良好な直線的相関関係を有しているが、運動量の増加とも関わらずこれらの指標が頭打ち(プラトー)になりはじめると、心仕事量の限界が近づいていることを意味する。心疾患患者では、血圧などのむしろ低下することがあり、これは心機

能の悪化を示唆するため、運動を中止する必要がある。運動負荷心電図ではST偏位により虚血の有無・重症度の評価、不整脈の有無などについて検討し、薬剤効果や、運動処方の適否を検討する。健康人における運動時の不整脈としては、洞性徐脈が最も多く、その他、各種の不整脈がみられる。虚血性心疾患患者では心室性期外収縮に対する運動の影響は交感神経系を活性化して、心筋酸素消費量を増加、心筋虚血の増強により、心室興奮電位第4相の再分極を促進する。また副交感神経活性を減弱して伝導の不均一化を生じ、不整脈惹起効果を有する。一方、心拍数増加はoverdrive suppression現象により期外収縮に抑制的に作用する。上記いずれが優位に作用するかは個々の例で異なる。しかし、運動療法施行中における不整脈の頻度を検討してみると、リハビリテーションの進行と共に不整脈の減少することが多い。ほとんど完全に消失してしまうこともあり、これは虚血性心疾患の自然経過に加え、トレーニングによる交感神経抑制作用の影響が大きいと考えている。臨床的には、不整脈を有しても、(1)6 Mets以下の負荷で、狭心痛ないし虚血が生じず、(2)運動負荷試験に重篤な不整脈がみられず、(3)運動中に不整脈が減少ないし消失し、また(4)運動により血圧低下ないし異常な上昇(収縮期血圧>230mmHg)がなければ運動を許可してよいと考えられる。

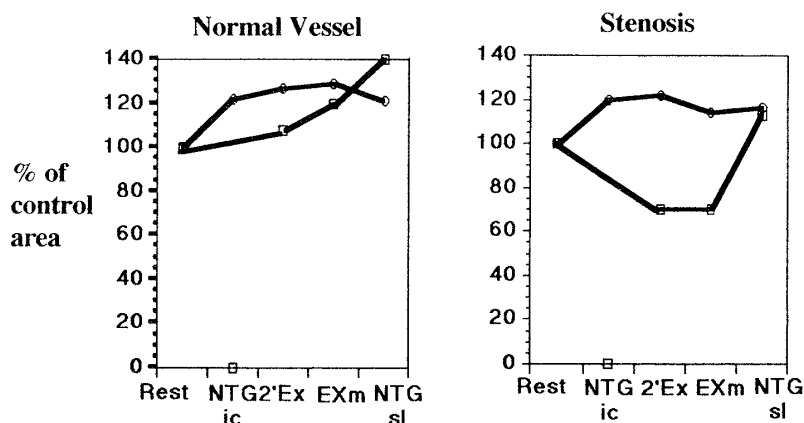


図2 運動負荷時における正常および狭窄冠血管径の変化

正常冠血管ではニトログリセリン冠動脈注入(NTGic)により拡張する。2分間の運動(2'EX)、最大運動負荷(EXm)を加えるとさらに血管径の増大がみられる。ニトログリセリン冠径なしの場合も同様の傾向を示す。これに対し、狭窄血管ではニトログリセリン投与群では冠拡張を示すが、非投与群では運動によりむしろ血管は収縮し、ニトログリセリン舌下投与(NTGsl)で改善を示している。

5. 運動負荷試験のエンドポイントと運動処方

中止基準として、自覚症状（狭心症、息切れ、疲労）、目標心拍数、心電図異常、血圧の異常変化などが挙げられる。ところで虚血の判定は診断法によりその鋭敏度に差がある。より鋭敏な手段を用いれば、軽度の虚血でも判定可能であるのに対し、自覚症状などはかなり虚血が強くなって生じる。すなわち、症状出現前に虚血所見を把握することができ、これを「無症候性虚血」と呼ぶ。臨床的に、無症候性の心筋虚血は有症候性虚血と同様に重要であるとして、最近その存在が注目されている。無症候性心筋虚血の頻度をホルター心電図で検討してみたところ、虚血性ST変化の大部分（60～90％）は無症候であることが判った²⁾。無症候性虚血出現の機序としては、虚血の程度ないしその領域が小さいこと、痛みの神経経路の傷害などの他、疼痛に対する閾値の上昇が考えられており、内因性オピオイドペプチドなどの関与を論ずる意見もあるが結論は得られていない。

メディカルチェックを行った後、個々人に適した運動処方が行われる。通常は自覚症状、心拍数がその指標として用いられ、エンドポイントの60～65％から開始される³⁾。別の指標として、AT値が提唱されている。心筋の虚血と全身的無酸素閾値が一致するかどうかの問題はあるが、心筋虚血のレベルがあまり低くない患者では1つの良好な指標と考えられる。他にアミチェックを用いたアンモニアの測定も運動レベルの高い者には簡便でよい指標になり得る⁴⁾。

運動に際しては、dynamicな運動とstaticな運動で血行状態に与える影響が異なる。従って、トレッドミル負荷試験あるいは自転車エルゴメータ試験がよく用いられるが、患者の職種あるいは希望によっては、他の負荷方法も考慮する必要がある。また、治療薬剤と併せて運動の効果を判定する必要がある。（図3）

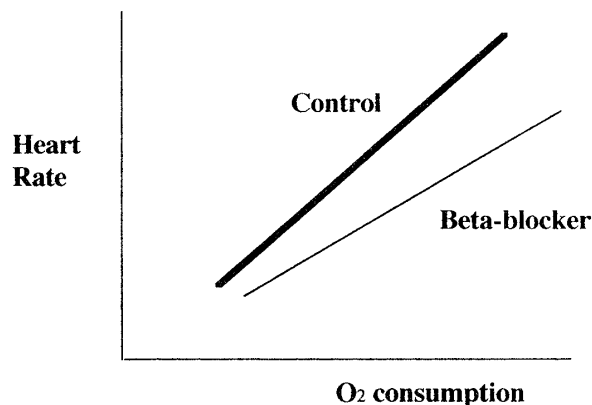


図3 酸素消費量と心拍数の関係
酸素消費量と心拍数はほぼ直線的な正の相関を示すが、 β 遮断薬投与下では心拍数の増加が抑制される。

6. 結語

運動負荷試験は今後ますます身体活動の測定法として繁用されるであろうが、運動負荷試験の限界を認識しておかなければならない。また、高齢者や比較的重症の患者では、持久力の向上が日常生活に於いて最も重要なQOL改善の指標になるが、持久力の判定に有用で簡便な運動負荷試験法の開発も必要である。身体内外の環境変化が試験成績におよぼす影響を含めて、総合的に運動耐容能を判断できるシステムの確立されることが望まれる。

文献

- 1) Gage JE, Hess OM, Murakami T, et al: Vasoc constriction of stenotic coronary arteries during dynamic exercise in patients with classic angina pectoris: reversibility by nitroglycerin. *Circulation* 1986; 73: 865-876
- 2) 日比野均, 神原啓文: 無症候性心筋虚血とその機序。循環器科 1993; 33: 310-318
- 3) 小野晋司, 神原啓文: 虚血性心疾患の運動療法と運動負荷試験。Modern Physician 1993; 13: 229-233
- 4) 牧田茂, 野原隆司, 神原啓文 他: 冠動脈疾患および冠危険因子保有患者の運動負荷試験試験における血中アンモニア測定の有用性についての検討。Therap Res 1991; 12: 155-160