不整脈の誘発および病因診断における 運動負荷試験の意義

富山医科薬科大学医学部第二内科

余川 茂◇ 杉本 恒明 浦岡 忠夫
井内 和幸 秋山 真 能沢 孝

THE SIGNIFICANCE OF EXERCISE TESTS AS PROVOCATIVE OR DIAGNOSTIC INTERVENTIONS FOR ARRHYTHMIAS

Shigeru YOKAWA, MD, Tsuneaki SUGIMOTO, MD, Tadao URAOKA, MD,
Kazuyuki IUCHI, MD, Makoto AKIYAMA, MD
and Takashi NOZAWA, MD

The Second Department of Internal Medicine, Toyama Medical
and Pharmaceutical University School of Medicine

概要 運動負荷試験が、不整脈の誘発およびその病因診断において、どの程度の有用性をもつかを、treadmill亜最大運動負荷試験を行なった1148人を対象として調べた。運動負荷により93人で心室期外収縮、4人で心室頻拍、50人で上室期外収縮、3人で心房細動が誘発された。心室期外収縮の出現頻度、左室源性の心室期外収縮の出現頻度は負荷試験陽性群で多かったが、心室期外収縮出現時の心拍数には負荷試験陽性群と陰性群で差はなかった。心室期外収縮以外の不整脈の出現頻度と運動負荷試験の結果には、明らかな関係はなかった。すでに発作の確認されている頻拍発作症例で、運動により、その頻拍発作が再現されたものは、発作性心室頻拍例4人中2人、発作性心房細動例11人中2人であり、発作性上室頻拍は誘発されなかった。負荷前の洞頻度が毎分60未満で、かつ運動中の心拍数が毎分120に達しなかった20例のうち3例のみが、洞不全症候群症例であつた。また、洞不全症候群症例において、運動中の心拍数が目標心拍数に達したものと、達しなかったものとは、長時間心電図上の最大RR間隔、右房高頻度刺激後の洞自動能回復時間に差はなかった。以上より、運動負荷試験は、不整脈の病因診断、頻拍発作例での不整脈誘発法として限界があり、洞不全症候群の診断法としては有用でないと思われた。

緒 言

運動負荷試験は、虚血性心疾患の診断、治療効果の判定に広く用いられているが、近年は不整脈の診断、誘発法にも用いられつつある。日常臨床において、運動負荷試験を不整脈の検討に用いるのは、第1に、労作時の不整脈が疑われる症例において、これを誘発、再現させる場合、第2に、

安静時すでに存在する不整脈が、運動によつて、どのように変化するかをみる場合、第3に、上記二つの場合における心筋虚血の関与を問題にする場合などがある。以上の観点から、われわれは運動負荷試験が、不整脈の誘発および、その病因診断において、どの程度の有用性をもつものであるかをみるためtreadmill運動負荷時に認められた不整脈について検討した。

対象と方法

対象は、1980年1月から2年間で、富山医科薬科大学附属病院においてtreadmill運動負荷心電

〔昭和58年2月15日受稿〕

本論文の要旨は第79回日本内科学会講演会（1982年4月3～5日、東京都）および第16回国際内科学会議（1982年7月22～27日、プラハ市）において発表した。

図を記録したもののうち、抗不整脈薬投与をうけていない1148人である。その内訳は、男777人、女371人、年齢は12～89才である。狭心症誘発を目的として負荷試験を行なったもの774人、不整脈診断を目的としたもの205人、その他の目的で行なったもの169人である。

運動負荷試験は、treadmillを用い、Bruce変法（原法の62.5%のspeed）による多段階運動負荷とし、Ellestad¹⁾の年齢別最大心拍数の85%を目標心拍数とした亜最大試験を行なった。中止点は、目標心拍数に達したとき、狭心痛が出現したとき、呼吸困難や下肢の疲労などの自覚症状のため、もはや運動を続けることができなくなつたとき、一般に危険とされている不整脈の出現したとき、または、進行性のST低下がみられたときとした。運動前に坐位およびtreadmill上立位で1～3分間の連続圧縮心電図記録を行ない、運動中、運動後は6 channelの心電計で、1分毎に20秒間の12誘導心電図を記録した。一部症例では、12誘導心電図を記録する間、6誘導（I, II, aVF, V₁, V₃, V₅）の連続圧縮心電図記録を行ない、運動前、中、後を通じ持続的に心電図を記録した。運動中、後の各段階で1分毎に記録した20秒間の心電図記録にとらえられた心室期外収縮数を数え、その最高の個数を運動前と比較した。運動中、後を通じ連続的に心電図を記録した例では、1分間毎の心室期外収縮数を数え、そのうちの最高の個数を、運動前の連続圧縮心電図にとらえられたものと比較した。単位時間あたりの心室期外収縮数が、運動前に比べて25%以上、増加または減少した場合を、運動による変化とした。

aVRを除く11誘導のいずれかで、J点から80 msecの点で1mm以上の水平または下降型のST低下、あるいはJ点から40msecの点で1mm以上の水平または上り傾斜型のST上昇を認めた場合を陽性とした。1148人中、運動負荷試験陽性は254人、運動負荷試験陰性は543人であつた。ST変化がおこらないうちに、自覚症状のため目標心拍数に達しないまま試験を中止したものや、心室肥大、心室内伝導障害、WPW症候群などがあり、運動負

荷時のST変化を虚血反応と解釈することに問題のあるもの351人を判定不能とした。

結 果

1. 運動負荷試験により出現した不整脈

運動前の連続記録で不整脈を認めず、運動負荷中または負荷後5分以内に、はじめて出現した不整脈のうち、もつとも頻度の高い不整脈は心室期外収縮であり93人（8.1%）に出現した。運動中に出現したものは75人（6.5%）、運動後に出現したものは18人（1.6%）であつた。ついで多いのは上室期外収縮であり50人（4.4%）に出現した。上室期外収縮が運動中に出現したものは46人（4.0%）、運動後に出現したものは4人（0.3%）であつた。3個以上の心室期外収縮が連続するものを心室頻拍とすると、これが誘発されたものは4人であつた。心房細動が誘発されたものは3人であつた。心室頻拍および心房細動は、いずれも運動中に誘発された。洞房ブロックは、2人において認められ、いずれも運動終了1分以内に出現した（表1）。

運動負荷により出現した不整脈と、負荷試験結果との関係についてみると、心室期外収縮は、負荷心電図虚血反応陽性群（以下、P群）では37人（14.6%）、負荷心電図虚血反応陰性群（以下、N群）では38人（7.0%）に出現し、前者において高頻度であつた。上室期外収縮はP群で16人（6.3%）、N群で19人（3.5%）に出現した。心室頻拍についてはP群のうち2人、N群で1人に出現し、心房細動はP群で1人、N群で1人に認めた。洞房ブロック2人は、いずれも負荷試験が陰性と判定されたものであつた（表2）。

2. 運動負荷により出現した心室性不整脈

全例について、心室期外収縮の出現と年齢との関係を見ると、39才までの254人中12人（4.7%）、40～50才の610人中40人（6.6%）、60才以上の284人中41人（14.4%）に心室期外収縮が出現した。P群とN群にわけてみても、60才以上の高齢者で心室期外収縮の出現頻度が高かつた（表3）。

運動負荷により誘発された心室期外収縮を心電図上の波形により右脚ブロック型の左室源性のものと、左脚ブロック型の右室源性のものとに分け

表 1. 運動負荷試験により出現した不整脈の種類別頻度

	心室期外収縮	心室頻拍	上室期外収縮	心房細動	洞房ブロック
運動中に誘発されたもの	75 (6.5%)	4 (0.3%)	46 (4.0%)	3 (0.3%)	0
運動後に誘発されたもの	18 (1.6%)	0	4 (0.3%)	0	2 (0.2%)
計	93 (8.1%)	4 (0.3%)	50 (4.3%)	3 (0.3%)	2 (0.2%)

表 2. 運動負荷により出現した不整脈と、負荷試験結果との関係

	心室期外収縮	心室頻拍	上室期外収縮	心房細動	洞房ブロック
運動負荷試験陽性 (254)	37 (14.6%)	2 (0.8%)	16 (6.3%)	1 (0.4%)	0
運動負荷試験陰性 (543)	38 (7.0%)	1 (0.2%)	19 (3.5%)	1 (0.2%)	2 (0.4%)
運動負荷試験判定不能(351)	18 (5.1%)	1 (0.3%)	15 (4.3%)	1 (0.3%)	0
計 (1148)	93 (8.1%)	4 (0.3%)	50 (4.4%)	3 (0.3%)	2 (0.2%)

表 3. 年齢と心室期外収縮の出現頻度との関係

	≤39才	40~59才	≥60才
運動負荷試験陽性 (254)	0/19	16/139 (11.5%)	21/96 (21.9%)
運動負荷試験陰性 (543)	11/172 (6.4%)	16/290 (5.5%)	11/81 (13.6%)
運動負荷試験判定不能(351)	1/63 (1.6%)	8/181 (4.4%)	9/107 (8.4%)
計 (1148)	12/254 (4.7%)	40/610 (6.6%)	41/284 (14.4%)

図 1. 運動負荷により誘発された心室期外収縮の心電図上の波形

RBBB: 右脚ブロック型(左室源性)の心室期外収縮
 LBBB: 左脚ブロック型(右室源性)の心室期外収縮
 Multiform: 多形性(多源性)の心室期外収縮

3. 安静時すでに存在する心室期外収縮に対する運動の影響

安静時、すでに心室期外収縮が認められたものは、P群のうち10人、N群のうち30人であった。この安静時に存在した心室期外収縮の運動中、運動後の変化を図3に示す。P群では、運動中に増加ないし不変のものが60%、運動後に増加または不変のものが50%であった。一方、N群では、ほ

てみた。N群では、大半が右室源性であったが、P群では左室源性の心室期外収縮が45.9%であり、N群に比べ高率であった。多源性のものは、P群の2人に認められた(図1)。

二つ以上の心室期外収縮が連続する連続性心室性不整脈の頻度は、P群、N群で明らかな差はなかった。

心室期外収縮が、はじめて出現したときの心拍数をみると、P群、N群ともに130/分以下で出現するものが大半であり、両群間で差はなかった(図2)。

図2. 心室期外収縮が最初に出現したときの心拍数

とんどが運動により減少ないし消失した。また、多源性、2連発に変化したものは、両群にみとめられた。

4. 運動による頻拍発作の誘発

すでに発作の確認されている発作性心室頻拍4人、発作性上室頻拍23人、発作性心房細動11人のうち、運動により再現されたものは、おのおの、2人(50%)、0%、2人(18.2%)であった。

図3. 安静時に存在する心室期外収縮の運動による変化

表4. 洞不全症候群症例の臨床所見

	症例	年齢(才)	心電図所見	Holterまたはモニター心電図上の最大RR間隔(秒)	洞自動能回復時間(秒)
運動負荷時、目標心拍数に達したもの	K M	54	洞徐脈、一過性心房細動	1.52	2740
	N A	73	洞徐脈、一過性心房細動	1.50	4060
	E K	38	洞停止、結節性調律	3.12	2940
	T K	68	洞房ブロック	2.48	1700
	S S	68	洞房ブロック	1.84	3760
運動負荷時、目標心拍数に達しなかつたもの	M O	76	洞停止、結節性調律	2.00	8000以上
	T N	60	洞房ブロック、洞徐脈	2.32	11760
	S U	52	洞房ブロック、洞徐脈	2.90	3960
	S N	53	洞徐脈、一過性心房細動	2.05	1400
	K I	53	洞徐脈	1.43	1740

5. 洞徐脈例, 洞不全症候群における運動時心拍数の変化

洞不全症候群では、運動に対する心拍数の増加が悪く、最大洞頻度が120/分未満のことが多いといわれている²⁾³⁾。そこで、今回の対象者の中で、狭心痛をおこさなかつた症例のうち、負荷前、treadmill上立位での洞頻度が60/分未満で、かつ運動中の心拍数が120/分に達せずall outとなつた20人について検討したところ、臨床的に洞不全症候群と診断されたものは3人のみであつた。また、今回の対象者のうち、洞不全症候群症例は10人であつたが、目標心拍数に達したものは5人、達しなかつたものは5人であつた。モニターまたはHolter心電図などの長時間心電図でとらえられた最大RR間隔および、右房高頻度刺激後の洞自動能回復時間を、目標心拍数に達したものと、達しなかつたものとで比較したが、明らかな差はなかつた(表4)。

考 案

1. 心室性不整脈

運動負荷により各種の不整脈、伝導障害が誘発されることが知られている。もつとも頻度の高いものは心室期外収縮であり、心室頻拍、心室細動などの致死的不整脈への移行の可能性がある点から、突然死の問題と関連したものとして注目されている。成書³⁾によれば、運動による心室期外収縮の発生あるいは消失には、(1)交感神経系興奮による異所性自動能亢進、(2)心筋虚血によるエントリの成立、(3)運動時の洞性頻脈が異所性興奮のoverdrive suppressionをおこすこと、が関与しているとされている。この他に、(4)運動時の心拍出力増加、血圧上昇に伴う心室筋の伸展も重要な因子であると考えられる。心筋伸展の状態で交感神経活動が加わると、心室性不整脈は一層、起こりやすくなる⁴⁾。これらの各因子のかねあいで、運動による心室期外収縮の発生、あるいは消失がおこるものと思われる。以上の観点から、今回、運動負荷時の心室期外収縮の出現様式を、運動負荷心電図上の虚血反応と対比検討した。

まず、運動により誘発された心室期外収縮の出

現頻度は、今回の成績では8.1%であつた。これまでの報告では11~48%^{5)~10)}と高値のことが多いが、対象者の年齢、運動強度、対象者における心疾患の比率などによつて心室期外収縮の発生頻度は異なると思われる。また、今回は間欠的な心電図記録にとらえられた心室期外収縮について検討していることも、出現頻度の少ない原因であろう。年代別にみると60才以上の高令者で心室期外収縮の出現頻度が高かつたが、Farisら⁶⁾は、年代別で有意な差はないと報告している。しかし、村山⁵⁾、McHenryら⁷⁾は、高令者ほど心室期外収縮の出現率が高いと報告しており、今回の結果と一致する。運動負荷時の心室期外収縮出現は、虚血性心疾患、心筋炎や心筋症などの心筋障害、僧帽弁逸脱症候群、QT延長症候群などで高頻度であるといわれている¹¹⁾。今回は、運動負荷心電図の虚血反応の有無と心室期外収縮の出現頻度との関係について検討したが、陽性群の方が陰性群よりも心室期外収縮の出現頻度が高かつた。これまでの報告でも、虚血性心疾患を有する例の方が、そうでない例よりも運動負荷による心室期外収縮の出現頻度が高いという成績が多い。もちろん、今回の運動負荷心電図のST変化の中には、心筋虚血によらないものも含まれている可能性は考えておかなければならない。

心室期外収縮の心電図上の波形については、例外はあるが¹²⁾、左脚ブロック型は右室源性、右脚ブロック型は左室源性とされており¹³⁾、健康人でみられる心室期外収縮は前者が、心疾患患者では後者が多い¹⁴⁾といわれている。今回、運動負荷試験陰性群で出現した心室期外収縮は大半が右室源性であつたが、運動負荷試験陽性群で出現した心室期外収縮は、約半数が左室源性であつた。この結果からは、左室源性の心室期外収縮が出現すれば、虚血性心疾患を疑う根拠としてよいと思われるが、右室源性の心室期外収縮であつても虚血性心疾患は否定できないといえる。

運動負荷により誘発された連続性の心室性不整脈の頻度には、運動負荷試験陽性群、陰性群で明らかな差がなかつた。3個以上連続する心室期外

収縮を心室頻拍とすると、今回の検討では 4 人 (0.3%) の心室頻拍がみとめられた。心室頻拍が運動負荷により誘発されることはまれである。Codini¹⁵⁾は、連続 5730 回の運動負荷試験で 8 人 (0.1%)、Ellestad¹⁶⁾は、4028 回の最大運動負荷で 9 人 (0.2%) に心室頻拍を認めている。これらの症例は、ほとんどが自然に洞調律にもどっている。今回みられた心室頻拍症例のうち、2 人は運動負荷試験陽性であり、1 人は陰性、1 人は目標心拍数に達しないうちに心室頻拍が誘発されたが、心室頻拍発生直前の心電図には ST の変化がみられなかった。結局、虚血が関与していると思われる心室頻拍は 4 人中 2 人 (50%) であった。

Selzer¹⁰⁾は、運動負荷試験時の虚血反応を疑う徴候として、心拍数 130/分未満で出現する心室期外収縮を重視している。しかし、今回、運動負荷試験陽性群、陰性群とも 130/分未満の心拍数で心室期外収縮の出現するものが大半であり、これと異なるものであった。

運動中の心室期外収縮数について、従来、運動中に消失する心室期外収縮は正常例に多く、増加するものは心疾患に多いといわれている。今回、運動中に増加するものは、運動負荷試験陽性群に多かったが、運動後の増減については、両群で差はなかった。運動負荷試験陽性群でも運動中に心室期外収縮が減少ないし消失したものが 40% もあり、心室期外収縮が運動により減少しても、必ずしも正常反応とはいえない。また、多形性、2 連発に変化するものは両群ともにみられた。その頻度については、今回は例数が少ないため意味はつけられず、今後の検討が必要と考えられる。

2. 上室性不整脈

上室期外収縮は、心室期外収縮に比べて運動負荷により誘発されることが少なく、その発生機序に関しても不明の点が多い。今回の結果も、運動負荷試験陽性群、陰性群で上室期外収縮発生頻度に差がなく、運動による上室期外収縮の出現は、虚血性心疾患との関連性という点では意義がないように思われた。心房細動、上室頻拍などの上室性の頻拍が出現する頻度は、さらに少ないといわ

れている。Gooch¹⁷⁾は、713 人の亜最大負荷試験で 2 人に心房細動の出現を認めている。今回、上室頻拍は誘発されなかったが、心房細動は 3 人で誘発され、1 人は甲状腺機能亢進症であつた。村山⁵⁾は、甲状腺機能亢進症に伴う一過性の心房細動が、しばしば運動により誘発されたとしている。上室性不整脈症例における運動負荷試験は、発作として訴えられている不整脈を再現させる方法としての価値はあるという程度のものである。

3. 洞不全症候群

洞不全症候群では、運動時の心拍数増加が少ない¹⁸⁾¹⁹⁾といわれている。Holden¹⁸⁾は、洞不全症候群症例と、年令を対応させた正常者に最大運動負荷を行ない、最大酸素摂取量には差がなかったが、洞不全症候群症例では最大心拍数が有意に低かったと報告している。Chung⁹⁾は、洞不全症候群症例では、通常の運動負荷の protocol では心拍数が 120/分に達することは少ないと述べている。今回、洞不全症候群症例と、そうでない洞徐脈例の鑑別に運動負荷試験が有用であるかどうかをみる目的で、安静時に洞徐脈があり、運動中の心拍数が 120/分に達しないうちに all out となつた症例 20 人について検討したが、臨床的に洞不全症候群と診断されたものは 3 人のみであつた。今回の対象者のうち、洞不全症候群症例は 10 人であつたが、目標心拍数 (年令別最大予測心拍数の 85%) に達したものは 5 人、達しなかったものは 5 人と差がなく、また、モニター上の最大 RR 間隔、洞自動能回復時間も、目標心拍数に達したものと、達しなかったものとで差がなかった。今回は例数は少ないが、この結果からは、運動時の心拍数の増え方をみることは、洞不全症候群の診断および病態の理解には、あまり有用でないといえそうである。

まとめ

1) 運動負荷試験陽性群では、心室期外収縮の出現頻度が、陰性群の 7.0% に対して 14.6% と高く、左室源性の心室期外収縮が多かつた。しかし、心室期外収縮出現時の心拍数には運動負荷試験陽性群と陰性群とでは差がなかった。

2) 心室期外収縮以外の不整脈の出現頻度には、

運動負荷試験陽性群と陰性群とでは、明らかな差がなかった。

3) すでに発作の確認されている頻拍発作例で、運動により頻拍が誘発されたものは、発作性心室頻拍50%、発作性心房細動18.2%であり、発作性上室頻拍は誘発されなかった。

4) 洞不全症候群症例において、運動中の心拍数が目標心拍数に達しえたものと、達しなかつたものとで、臨床像に差はなかった。

5) 以上より、運動負荷試験は、不整脈の病因診断および頻拍発作例での不整脈誘発法として限界があり、また、洞不全症候群の診断法としては有用でないと思われた。

文 献

- 1) Ellestad MH, et al: Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation* 39: 517, 1969.
- 2) Le Heuzey JY, et al: Apport de l'épreuve d'effort au diagnostic des dysfonctionnements sinusaux. *Arch Mal Cœur* 74: 297, 1981.
- 3) Chung EK: Exercise Electrocardiography. Practical approach. Williams & Wilkins, Baltimore, 1979, p220.
- 4) 上田英雄, 杉本恒明: 中枢性不整脈. *臨床科学* 4: 1189, 1968.
- 5) 村山正博: 実地臨床における不整脈診断へのアプローチ. *運動負荷試験, 治療* 63: 1035, 1981.
- 6) Udall JA and Ellestad MH: Predictive implications of ventricular premature contractions associated with treadmill stress testing. *Circulation* 56: 985, 1977.
- 7) McHenry PL, et al: Cardiac arrhythmias observed during maximal treadmill exercise testing in clinically normal men. *Amer J Cardiol* 29: 331, 1972.
- 8) Faris JV, et al: Prevalence and reproducibility of exercise-induced ventricular arrhythmias during maximal exercise testing in normal men. *Amer J Cardiol* 37: 617, 1976.

- 9) Poblete PF, et al: Detection of ventricular ectopy in patients with coronary heart disease and normal subjects by exercise testing and ambulatory electrocardiography. *Chest* 74: 402, 1978.
- 10) Froelicher VF, et al: Epidemiologic study of asymptomatic men screened by maximal treadmill testing for latent coronary artery disease. *Amer J Cardiol* 34: 770, 1974.
- 11) Cohn K and Goldschlager N: The significance of arrhythmias in exercise testing. In *Cardiac Arrhythmias*. (Ed. Mandel WJ) Lippincott, Philadelphia & Toronto 1980, p396.
- 12) Josephson ME, et al: Recurrent sustained ventricular tachycardia: Endocardial mapping. *Circulation* 57: 440, 1978.
- 13) Rosenbaum MB: Classification of ventricular extrasystoles according to form. *J Electrocardiol* 2: 289, 1969.
- 14) Lewis S, et al: Significance of site of origin of premature ventricular contractions. *Amer Heart J* 97: 159, 1979.
- 15) Codini, MA, et al: Efficacy of coronary bypass grafting in exercise-induced ventricular tachycardia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 81: 502, 1981.
- 16) Selzer A, et al: On the interpretation of the exercise test. *Circulation* 58: 193, 1978.
- 17) Gooch AS and McConnell D: Analysis of transient arrhythmias and conduction disturbances occurring during submaximal treadmill exercise testing. *Prog Cardiovasc Dis* 13: 293, 1970.
- 18) Holden W, et al: Characterisation of heart rate response to exercise in the sick sinus syndrome. *Brit Heart J* 40: 923, 1978.
- 19) Vallin HO and Edhag KO: Heart rate responses in patients with sinus node disease compared to controls: physiological implications and diagnostic possibilities. *Clin Cardiol* 3: 391, 1980.