原 著 労作性狭心症における運動負荷時の心機能の検討

その1 エルゴメーター運動負荷と等尺性運動負荷の比較

北海道大学医学部循環器内科（指導 安田寿一教授）

伊藤 一輔

CARDIAC FUNCTION DURING EXERCISE IN EFFORT ANGINA

Part 1. A COMPARATIVE STUDY OF DYNAMIC EXERCISE AND STATIC EXERCISE

Kazusuke ITOH, MD

Department of Cardiovascular Medicine, Hokkaido University School of Medicine, Sapporo
(Director: Prof Hisakazu Yasuda, MD)

概要 本研究の目的の第1は、dynamic exerciseで狭心症を誘発した時の血行動態の推移を観察すること。第2は、狭心症を誘発しないstatic exerciseの血行動態を観察すること。第3は、dynamic exerciseとstatic exerciseの成績を比較することである。対象は正常冠動脈と考えられるコントロール群（C群）6名と、冠動脈病変を有する労作性狭心症群（A群）11名の計17名である。安静時の成績は両群間で差を認めなかつた。dynamic exerciseは臥位エルゴメーターで行なつた。C群は運動時、左室仕事係数（SWI）は増加し、左室拡張充満期圧（LVFP）は微かの上昇であつた。A群は2型に反応が分かれた。軽症冠動脈病変のA-I群は当初SWIは増加したが、狭心症発現に伴い減少し、LVFPは上昇した。重症冠動脈病変のA-II群は当初よりSWIは殆ど増加せず、狭心症発現に伴い前値以下に減少し、LVFPは著しく上昇した。static exerciseはハンドグリップで行なつた。C群はSWIは増加しLVFPは微かの上昇に留まつた。A群はSWIがA-I群では不変、A-II群では減少した。LVFPはA群で上昇が著しかつた。dynamic exerciseとstatic exerciseの機能的重症度を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ で表わし、比較検討した。両者は良い相関 $r=0.641(P<0.01)$ を示し、それはまた冠動脈病変の重症度とも良い相関を示した。以上より、労作性狭心症でdynamic exerciseとstatic exerciseは異なつた負荷方法であるにもかかわらず同傾向の血行動態変化を示し、機能的重症度を表わす検査法として臨床的に有用と考えられた。

緒 言

運動負荷は、虚血性心疾患の診断のためのstress testあるいは心機能検査として広く応用されている。運動負荷の方法としては、筋肉の収縮と弛緩を繰返すいわゆるdynamic exerciseと固定された一定の抵抗下での持続的な筋収縮を行なういわゆるstatic exerciseとの2種類に分けられる。労作性狭心症において、dynamic exerciseは心電図変化や狭心痛発現時の心機能を観察するために用い

られ、運動前後での報告は数多くあるが^{1) 2) 3)}、運動中あるいは運動直後の連続的観察は少ない⁴⁾。一方static exerciseは、心電図変化や狭心痛発現の目的には、その価値は乏しく⁶⁾、むしろ左室performanceの検索に基づく心予備力を知る検査法として評価されているが⁷⁾、労作性狭心症での報告は少なく^{8) 10)}、まだ方法論としても確立されているとは言い難い。本研究は、労作性狭心症においてdynamic exerciseとstatic exerciseを行なつた際の血行動態変化を観察し、その成績を同一症例で比較し、また合わせて冠動脈病変の重症度

〔昭和56年2月26日受稿〕

表1. 対象症例と臨床検査成績

	年 齢	性 別	臨 床 診 断	安 静 時 心電図所見	胸部写真 心 胸 比 (%)	冠 動 脈 造 影 所 見				左 室 造 影 駆 出 分 画	R I 負 荷 心筋シンチ		
						Coronary Angio Score							
						右冠動脈	左主幹	左前下行枝	左回旋枝			計	
コ ン ト ロ ル 群 (C 群)	1	♂	神経循環無力症	正 常	44	0	0	0	0	0.88	陰 性		
	2	♂	異型狭心症	左室肥大	52	0	0	1	1	2	0.65	"	
	3	♀	"	正 常	49	0	0	0	0	0	0.82	"	
	4	♂	"	"	46	0	0	1	1	2	0.54	"	
	5	♂	神経循環無力症	"	47	1	0	0	0	1	0.72	"	
	6	♂	異型狭心症	"	45	1	0	0	0	1	0.67	"	
Mean ±SD		46 6		47 3						1.0 0.9	0.71 0.12		
(A 群)	労 作 性 狭 心 症 群 (A-I)	1	♂	労作性狭心症	正 常	47	0	0	5	0	5	0.67	陽 性
		2	♂	"	左室肥大	46	0	0	3	0	3	0.61	"
		3	♂	"	正 常	55	0	0	5	0	5	0.73	"
		4	♂	"	"	52	6	0	5	1	12	0.77	"
		5	♂	"	"	49	4	0	3	2	9	0.73	"
	冠 重 動 脈 病 変 群 (A-II)	6	♂	"	"	50	5	2	4	6	17	0.71	(-)
		7	♂	"	"	55	4	0	4	5	13	0.80	"
		8	♂	"	"	50	5	3	4	5	17	(-)	(-)
		9	♂	"	左室肥大	48	5	4	0	3	12	0.47	"
		10	♂	"	完全右脚ブロック	48	3	0	5	4	12	0.57	"
		11	♂	"	正 常	49	5	0	4	4	13	0.50	"
A - I		Mean ±SD	54 4	50 4						6.8 3.6	0.70 0.06		
A - II		Mean ±SD	57 5	50 3						14.0 2.4	0.61 0.13		
A 群		Mean ±SD	55 5	50 3						10.7 4.7	0.65 0.10		
P value	C 群 : A 群		0.001	NS						0.001	NS		
	C 群 : A-I		0.05	"						0.01	"		
	C 群 : A-II		0.01	"						0.001	"		
	A-I : A-II		NS	"						0.001	"		

とも比較し、その有用性を検討した。

対 象 (表1)

胸痛を主訴に入院した症例で、トレッドミル重最大運動負荷を行ない狭心痛および心電図上虚血性変化を示さず、RI運動負荷心筋シンチにて陰性の症例をコントロール群 (C群) として、運動負荷で狭心痛を生じかつ心電図上虚血性変化を伴った症例を労作性狭心症群 (A群) とした。対象は、C群の異型狭心症4名と神経循環無力症2名の計6名と、A群の労作性狭心症11名の合計17名である。対象から、不安定狭心症、心筋硬塞の既往者、心不全の既往と現在ある者、そして肺疾患など重症の合併症を持つ者は全て除外した。薬物は、検査の約2週間前より全て中止し、発作時のニトログリセリンのみとした。全症例に左心カテーテル法を施行し、冠動脈造影と左室造影を行なった。冠動脈病変は50%以上の狭窄を有意とした。なお冠動脈病変をContiに⁹⁾従いcoronary angio score (CAS) で示した。C群は全例有意の狭窄はなかった。CASは 1.0 ± 0.9 (Mean $\pm$ SD) であつた。A群は冠動脈病変の程度により、1枝病変または2枝病変の軽症冠動脈病変群 (A-I群) と3枝病変以上の重症冠動脈病変群 (A-II群) に分けて比較検討した。A-I群は1枝病変3名と2枝病変2名の計5名であり、A-II群は3枝病変4名、2枝兼左主幹部病変1名と3枝兼左主幹部病変1名の計6名であつた。CASはA-I群が 6.8 ± 3.6 、A-II群が 14.0 ± 2.4 とA-II群が高値を示した ($P < 0.001$)。年齢はC群が 46 ± 6 才、A群が 55 ± 5 才、性別は、C群の1名女性の他は男性であつた。心電図は全例洞調律であり、完全右脚ブロック1名と左室肥大3名の他は正常であつた。胸部写真心胸比は、C群が $47 \pm 3\%$ 、A群が $50 \pm 3\%$ 、左室造影駆出分画は、C群が 0.71 ± 0.12 、A群が 0.65 ± 0.10 、共に有意差を認めなかった。RI運動負荷心筋シンチは、C群が全例陰性、A群は陽性であつた。

方 法

運動負荷の様式としてdynamic exerciseは仰臥

位 エルゴメーターにてstatic exerciseは等尺性ハンドグリップにて行なつた。

I. 仰臥位エルゴメーター負荷

Monark社製Rehabtrainerを用い特別検査室のベッドにて行なつた。負荷量は予め練習を2回行ない、狭心痛が2~3分目に発現し、そして約6分間単一負荷が続けられるように決めた。心電図は、ST部分の低下の著しい部位で連続記録した。血圧は、聴診法で30秒毎に測定した。血行動態は、Swan-Ganz thermodilution用カテーテルを肺動脈内に留置して、肺動脈圧と肺毛細管圧を体外式圧力トランスデューサーを用い測定した。圧の0点は、mid-thoracic levelにとつた。心拍出量は、熱希釈法にて測定した。すなわち冷却 (4°C) 5%ブドウ糖10ccを自動注入器で注入し、Erdward's thermodilution cardiac output computer (9510Aあるいは9520)を用い1分毎に測定し、希釈曲線と圧波形はポリグラフ (5130A三栄測器) に記録した。

II. 等尺性ハンドグリップ負荷

握力計 (松吉医科KK.M式) を用い、最大握力量の1/3量で3分間法にて行なつた。2回以上の練習を行ない、Valsalva試験にならぬ様に注意した。血行動態諸値の測定は負荷前および負荷後3分目に行なつた。

なお検査は患者の同意を得て行なつた。

血行動態諸値は、心係数 (CI)=心拍出量 (CO) $\div$ 体表面積、1回拍出係数 (SVI)=CI $\div$ 心拍数 (HR)、左室仕事係数 (SWI)={平均体血圧 (mAoP)-左室拡張充満期圧 (LVFP)} $\times$ SVI $\times$ 0.0136の式を用い算出した。LVFPの推定は肺毛細管圧又は肺動脈圧 (PAP) の拡張期圧を用いた。ダブルプロダクト (PRP) は、HR $\times$ 収縮期血圧より求めた。

統計諸値は、Mean $\pm$ Standard Diviationにて表わし、有意性の検定はT-testにより、P-valueは0.05以下を有意とした。

成 績

I. 仰臥位エルゴメーター負荷 (表2)

表2に負荷量、PRPと心電図のST変化の程度を

表2. 仰臥位エルゴメーターによる負荷量と成績

			エルゴメーター 負 荷 量				ダブルプロダクト(mmHg・min×10 ³)		心 電 図 S T 変 化 (mm)	
			単一 負 荷 量 (kpm/min)	狭心痛発現時	運動負荷終了時	総 負 荷 量 (kpm)	狭心痛発現時	運動負荷終了時		
コントロール 群 (C 群)	1		375		6' 00"	2,250		19	0	
	2		450		6' 00"	2,700		21	—0.5	
	3		225		6' 00"	1,350		26	0	
	4		300		6' 00"	1,800		11	0	
	5		300		6' 00"	1,800		14	0	
	6		375		6' 00"	2,250		19	0	
Mean							2,025		18	—0.1
±SD							431		5	0.2
労 作 性 狭 心 症 群 (A 群)	冠 動 脈 病 変 群 軽 症 (A-I)	1	300	1' 50"	6' 00"	1,800	18	18	—3.0	
		2	300	2' 10"	6' 00"	1,800	14	15	—4.0	
		3	300	4' 50"	7' 00"	2,100	13	14	—2.0	
		4	300	2' 00"	6' 00"	1,800	13	11	—1.0	
		5	375	5' 15"	7' 00"	2,625	14	15	—1.0	
	冠 動 脈 病 変 群 重 症 (A-II)	6	180	2' 40"	6' 00"	1,085	13	13	—3.0	
		7	300	2' 45"	6' 00"	1,800	13	12	—3.5	
		8	300	2' 30"	6' 00"	1,800	14	14	—2.5	
		9	225	3' 30"	4' 00"	900	13	15	—5.0	
		10	180	2' 00"	3' 30"	630	10	10	—3.0	
		11	300	1' 10"	4' 30"	1,350	14	11	—4.0	
A - I Mean							2,025	14	15	—2.2
±SD							322	2	3	1.3
A - II Mean							1,261	13	13	—3.5
±SD							437	2	2	0.9
A 群 Mean							1,608	14	14	—2.9
±SD							544	2	2	1.2
P value	C 群 : A 群						0.05		0.01	0.001
	C 群 : A-I						NS		NS	0.01
	C 群 : A-II						0.01		0.05	0.001
	A-I : A-II						0.01	NS	NS	0.05

示した。総負荷量は、C群が2025±431kpm、A-I群が2025±322kpm、A-II群が1261±437kpmとA-II群は他群より低値であつた(共にP<0.01)。PRPは、C群が18±5mmHg・min・10³、A-I群が15±3mmHg・min・10³、A-II群が13±2mmHg・min・10³であり、C群、A-I群、A-II群の順に低値であつた。心電図のST変化は、C群では有意の変化を認めなかつた。A-I群では-2.2±1.3mm、A-II群では-3.5±0.9mmであつてA-II群の低下が著しかつた(A-I:A-II P<0.05)。

運動時狭心症を誘発したA群の実例を図1に示した(図1)。55才、男性、3枝兼左主幹部病変の症例である。運動に伴いAoP、HR、CIとSVIは当初増加したが、心電図のST低下が出現し、次に狭心痛が発現した。同時にAoPは低下し、CIとSVIは減少し、PAPとLVFPは著しく上昇した。運動中止後に狭心痛が消失してAoP、CIとSVIは

一時的増加した後に前値に復した。同症例の心機能(SWI対LVFPの関係)の推移を図1-Bに示した。運動開始に伴いSWI対LVFPは右上方に向うが狭心痛の発現に伴い右下方に偏位して、その後も右下方に向い運動を終了した。そして左上方に向かつた後、前値に復した。

全症例の血行動態の成績のまとめ(表3)：

各群の安静時と運動終了時の成績を表3に示した。安静時の成績では、各群間にて全て有意の差を認めなかつた。運動終了時、CIは全群で増加したが、その程度は、C群>A-I群>A-II群の順で増加が強く、有意差を認めた(C群:A-I P<0.05, A-I:A-II P<0.001)。SVIはC群で増加した(P<0.05)が、A-I群では微かな増加でありA-II群では軽度減少した。LVFPはC群では7±3mmHgより10±2mmHgと微かな上昇であつた。A-I群では8±2mmHgより22±4mmHgと上昇し、

表3. 仰臥位エルゴメーター負荷の成績のまとめ

	C I	HR (b/min)		SVI (ml/min/m ²)		mAoP (mmHg)		mPAP (mmHg)		LVFP (mmHg)		SWI (g-m/m ²)		Δ SWI/ Δ LVFP
		安静時	終了時	安静時	終了時	安静時	終了時	安静時	終了時	安静時	終了時	安静時	終了時	
コントロール群	1	2.82	8.41	66	120	43	70	83	108	7	20	45	96	51.0
	2	3.60	6.64	88	122	41	87	105	127	11	20	52	87	35.0
	3	2.75	6.02	66	138	41	44	113	139	4	25	58	85	3.4
	4	3.31	6.13	61	81	54	70	87	110	9	12	58	93	11.7
	5	3.54	5.74	66	96	54	64	102	120	4	15	75	104	7.3
	6	3.23	6.92	72	114	45	59	82	135	4	25	41	98	28.5
C 群	Mean	3.21	6.64	70	112	46	66	95	123	7	21	55	94	22.8
	$\pm$ SD	0.36	0.97	10	20	6	14	13	13	3	4	12	7	18.5
P		0.001	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.001	0.001	0.001	
労作性狭心症群	1	3.51	5.55	72	100	48	55	111	137	11	30	65	86	1.9
	2	3.70	4.54	82	105	45	44	98	102	10	36	54	44	-0.5
	3	2.72	5.08	56	90	49	56	97	119	5	24	61	73	0.6
	4	3.72	5.69	58	78	64	73	97	103	7	19	79	81	0.2
	5	2.01	5.96	50	84	40	71	110	125	7	18	56	79	2.0
	6	2.61	3.36	70	81	37	42	116	115	12	24	53	54	0.1
	7	2.07	3.34	60	84	34	40	108	101	6	25	48	41	-0.4
	8	2.44	3.59	68	99	35	36	117	147	5	46	53	49	-0.1
	9	3.22	3.72	63	96	53	39	97	114	4	34	67	47	-1.0
	10	2.20	1.89	60	84	37	30	98	83	10	42	49	34	-0.7
	11	3.60	3.85	66	96	55	39	100	96	10	45	67	26	-1.5
A-I	Mean	3.13	5.36	64	91	49	60	103	117	8	30	63	73	0.8
	$\pm$ SD	0.75	0.56	13	11	9	11	7	15	2	4	10	17	1.0
P		0.01	0.001	0.001	NS	0.05	0.05	0.05	0.001	0.001	NS	NS	NS	
A-II	Mean	2.71	3.29	65	90	42	38	106	109	8	37	56	42	-0.6
	$\pm$ SD	0.62	0.72	4	8	10	4	9	22	3	8	9	9	0.5
P		0.05	0.001	0.001	NS	NS	NS	NS	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	
A 群	Mean	2.90	4.23	64	91	45	48	105	113	8	34	59	56	0.1
	$\pm$ SD	0.68	1.24	9	9	10	14	8	19	3	7	10	21	1.1
P		0.01	0.001	0.001	NS	NS	NS	NS	0.001	0.001	NS	NS	NS	
P value	C 群:A 群	NS	0.001	NS	0.01	NS	0.05	NS	NS	NS	0.001	NS	0.001	0.001
	C 群:A-I	"	0.05	"	0.05	"	NS	"	"	"	0.001	"	0.01	0.05
	C 群:A-II	"	0.001	"	0.05	"	0.001	"	"	"	0.001	"	0.001	0.01
	A-I:A-II	"	0.001	"	NS	"	0.001	"	"	"	0.05	"	0.01	0.01

図1-A. A群症例8のエルゴメーター負荷による血行動態変化

図1-B. 同症例の心機能の推移

表4. エルゴメーター負荷時の軽症冠動脈病変群 (A-I群) と重症冠動脈病変群 (A-II群) の心機能の推移の比較

		① 安静時	② SWI最大増加時	③ 狭心痛発現時	④ 負荷終了時
C I ($L/min/m^2$)	A-I	3.13 ± 0.75	5.78 ± 0.77	4.93 ± 0.63	5.36 ± 0.56
	A-II	2.71 ± 0.62	3.84 ± 0.82	3.53 ± 0.88	3.29 ± 0.72
	P	N S	0.01	0.01	0.01
H R (beats/min)	A-I	64 ± 13	88 ± 9	89 ± 13	91 ± 11
	A-II	65 ± 4	83 ± 10	89 ± 8	90 ± 8
	P	N S	N S	N S	N S
S V I ($ml/min/m^2$)	A-I	49 ± 9	74 ± 23	58 ± 8	60 ± 11
	A-II	42 ± 10	47 ± 11	39 ± 9	38 ± 4
	P	N S	0.05	0.01	0.001
m A o P (mmHg)	A-I	103 ± 7	114 ± 11	112 ± 10	117 ± 15
	A-II	106 ± 9	111 ± 14	110 ± 19	109 ± 22
	P	N S	N S	N S	N S
m P A P (mmHg)	A-I	13 ± 3	24 ± 3	29 ± 5	30 ± 3
	A-II	14 ± 3	23 ± 4	33 ± 10	37 ± 8
	P	N S	N S	N S	0.05
LVFP (mmHg)	A-I	8 ± 2	16 ± 3	18 ± 6	22 ± 4
	A-II	8 ± 3	16 ± 3	23 ± 8	31 ± 10
	P	N S	N S	N S	0.05
S W I ($g-m/m^2$)	A-I	63 ± 10	87 ± 17	70 ± 11	73 ± 17
	A-II	56 ± 9	63 ± 17	49 ± 12	42 ± 9
	P	N S	0.05	0.01	0.01
$\Delta S W I / \Delta L V F P$	A-I		3.7 ± 3.1	0.9 ± 0.6	0.8 ± 1.0
	A-II		1.3 ± 2.3	-0.5 ± 0.8	-0.6 ± 0.5
	P		N S	0.01	0.01

(Mean $\pm$ SD)

さらにA-II群では 8 ± 3 mmHgより 31 ± 10 mmHgと上昇が著しく、各群間に有意差を認めた (C群: A-I $P < 0.001$, A-I : A-II $P < 0.05$). SWIはC群では 55 ± 12 g-m/M²より 94 ± 7 g-m/M²へと著明に増加した ($P < 0.001$). 一方A-I群では 63 ± 10 g-m/M²より 73 ± 17 g-m/M²で不変であり、A-II群では 56 ± 9 g-m/M²より 42 ± 9 g-m/M²と減少し ($P < 0.01$), 各群間に有意差を認めた (C群: A-I $P < 0.01$, A-I : A-II $P < 0.01$). Δ SWI/ Δ LVFPはC群では 22.8 ± 18.5 (51~3.4) であり、A-I群では 0.8 ± 1.0 (2.0~-0.5), A-II群では -0.6 ± 0.5 (0.1~-1.5) と順に低値をとり、各群間に有意差を認めた (C群: A-I $P < 0.05$, A-I : A-II $P < 0.01$). その値は、C群では3.0以上、A群では2.0以下に分かれた。

冠動脈病変の重症度 (A-I群とA-II群) による心機能の経時的血行動態推移の比較 (表4):

両群を、① 安静時、② SWI最大増加時 {SWI (max)}, ③ 狭心痛発現時、④ 運動終了時の4時点で比較した。mAoPとHRは両群間に差を認めなかつた。CIは、両群共にSWI (max) で最大増加となり、狭心痛発現そして運動終了とともに減少した。しかしA-II群ではSWI (max) 時以降の各時点でA-I群より有意に低い値を示した。SWIとSVIはCIと同様の成績を示し、特にA-II群は狭心痛発現以降は安静時以下の低い値に留つた。PAPとLVFPは、安静時、SWI (max), 狭心痛発現時と順に上昇し、運動終了時にA-II群がA-I群より有意な上昇を認めた ($P < 0.05$).

エルゴメーター負荷による各群の心機能 (SWI対LVFPの関係) の経時的推移の比較 (図4):

各群について、運動負荷によるSWI対LVFPの時間的推移を図2に示した。C群 (○) は、上方にsteepに推移した。A-I群 (△) は、運動開始に伴い、上方にsteepに推移したが狭心痛の発現 (▲) に伴い右下方に偏位し、さらに右方に推移して運動を終了した。一方A-II群 (□) は、ほぼ右方に推移し、狭心痛の発現 (■) に伴い安静時より右下方に偏位し、さらに右下方に推移して

図2. 仰臥位エルゴメーター負荷による各群の心機能の推移の比較

図3. 仰臥位エルゴメーター負荷の重症度と冠動脈病変の重症度との比較

表5. 等尺性ハンドグリップ負荷の成績のまとめ

負荷量 (kg)	狭心症 有無	CI (L/min/m ²)		HR (b/min)		SVI (ml/min/m ²)		mAOP (mmHg)		mPAP (mmHg)		LVFP (mmHg)		SWI (g-m/m ²)		ΔSWI ΔLVFP
		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	
コントロール 群	1	2.74	3.22	66	98	40	33	81	115	14	15	8	9	39	47	8.0
	2	3.38	3.90	90	92	38	45	103	133	10	15	5	10	51	85	6.8
	3	2.62	3.01	78	84	34	36	99	125	11	12	7	10	45	61	5.4
	4	3.06	3.27	58	64	53	52	83	107	12	13	7	8	51	65	14.0
	5	3.31	3.85	76	90	44	43	97	117	8	9	4	5	58	68	10.0
	6	3.51	3.86	68	68	52	57	103	127	14	15	9	11	66	92	13.0
C 群	Mean	3.10	3.52	73	82	44	44	96	124	12	13	7	9	52	70	9.5
	±SD	0.36	0.39	11	14	8	9	9	16	2	2	2	2	10	16	3.4
労作性狭心症群	P	0.001		0.05		NS		0.001		0.05		0.05		0.05		
	1	2.91	3.07	72	72	40	43	117	133	10	12	5	10	62	76	4
	2	3.55	3.85	79	90	45	43	111	131	13	24	7	17	64	66	2
	3	2.67	2.89	61	65	44	44	94	122	10	12	4	7	54	61	7
	4	3.48	3.33	57	63	61	53	105	123	10	13	5	7	68	64	-4
	5	2.18	2.02	62	70	35	29	107	141	10	18	5	17	48	46	-2
	6	2.83	2.21	68	77	41	29	113	132	11	15	9	12	54	47	-3
	7	2.26	2.39	60	72	38	33	96	119	15	17	7	13	45	48	3
	8	2.42	2.06	72	84	34	25	115	152	11	26	5	18	50	45	-5
	9	3.22	3.35	58	78	56	43	95	112	9	12	5	8	68	59	-9
	10	3.12	1.83	64	88	33	27	94	126	15	26	10	20	38	39	1
	11	3.71	3.88	72	88	52	44	98	121	9	13	4	7	64	59	-5
A-I	Mean	2.96	3.08	66	72	45	42	107	130	11	16	5	12	59	63	1
	±SD	0.57	0.67	9	11	10	9	9	8	1	5	1	5	8	11	4
A-II	P	NS		0.05		NS		0.01		0.05		0.05		NS		
	Mean	2.76	2.62	66	78	42	34	102	127	12	18	7	13	53	50	-3
A 群	±SD	0.62	0.81	6	7	10	8	10	14	3	6	2	5	11	9	4
	P	NS		0.01		0.001		0.001		0.05		0.05		NS		
A 群	Mean	2.85	2.81	66	75	44	38	104	128	11	17	6	12	56	56	-1
	±SD	0.58	0.75	7	9	9	9	9	11	2	6	2	5	10	11	5
P value	P	NS		0.001		0.01		0.001		0.05		0.001		NS		
	C群: A群	NS	0.05	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.01
A-I:A-II	C群: A-I	"	NS	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.05
	C群: A-II	"	0.05	"	"	"	0.05	"	"	"	"	"	"	"	0.05	0.01
	A-I:A-II	"	NS	"	"	"	NS	"	"	"	"	"	"	"	NS	NS

運動を終了した。

エルゴメーター負荷の機能的重症度と冠動脈病変の重症度との比較(図3):

エルゴメーター負荷の機能的重症度を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ で表わし, coronary angio scoreと比較検討した。両者は, 図3に示す如くC群(O)は右下方に, A-II群(■)は左上方に, そしてA-I群(▲)はその中間に位置した。両者は, $r = -0.594$ ($P < 0.001$)の相関を示した。

II. 等尺性ハンドグリップ負荷

全症例の血行動態の成績のまとめ(表5):

負荷量は各群間で差はなかつた。狭心痛と心電図虚血性変化は1例でのみ認められたに過ぎない。このことは, dynamic exerciseでA-I群, A-II群の全例で狭心痛を誘発せしめ得たことと, 明らかに対照的であつた。安静時の血行動態諸数値の成績では各群間に差を認めなかつた。

等尺性運動負荷後, CIはC群で有意に増加した($P < 0.001$)が, A-I群では不変, A-II群では軽度減少した。mAoPとHRは各群でいずれも増加した。SVIはC群とA-I群では不変で, A-II群は有意に減少した($P < 0.001$)。 $\Delta LVFP$ がC群よりA群で有意に大きかつた($P < 0.05$)が, A-I群とA-II群では差はなかつた。 ΔSWI はC群では $+18 \pm 10 \text{ g-m/M}^2$ であり有意の増加を示した($P < 0.05$)が, A-I群では $+1 \pm 4 \text{ g-m/M}^2$, A-II群では $-3 \pm 4 \text{ g-m/M}^2$ と不変であり, C群とA群に有意差を認めた($P < 0.01$)が, A-I群とA-II群で差はなかつた。 $\Delta SWI/\Delta LVFP$ はC群では 9.5 ± 3.4 ($14 \sim 5.4$)と高値であり, A-I群では 0.6 ± 2.0 ($2.8 \sim -2.0$), A-II群では -1.1 ± 1.4 ($0.5 \sim -3.0$)と順に低値を示した。C群とA-I群は有意差を認めた($P < 0.001$)が, A-I群とA-II群は差はなかつた。C群は4.0以上であり, A群は3.0以下に分かれた。

ハンドグリップ負荷による各群の心機能(SWI対LVFPの関係)の推移の比較(図4):

各群について運動負荷による心機能の推移を図4に示した。C群(O)は上方にsteepに推移し

た。これに比し, A-I群(▲)は右方に推移し, A-II群(■)はやや右下方に推移した。この様にハンドグリップ負荷においても, 各群は異なる血行動態変化を示した。

図4. 等尺性ハンドグリップ負荷による各群の心機能の推移の比較

図6. 仰臥位エルゴメーター負荷と等尺性ハンドグリップ負荷の重症度 ($\Delta SWI/\Delta LVFP$) の比較

ハンドグリップ負荷の機能的重症度と冠動脈病変の重症度との比較 (図5):

ハンドグリップ負荷の機能的重症度を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ で表わし, coronary angio score と比較し, その成績を図5に示した. C群 (○) は右下方に, A-II群 (■) は左上方に, A-I群 (▲) は中間に位置した. 両者は $r = -0.797$ ($P < 0.001$) で良い相関を示した.

III. 仰臥位エルゴメーター負荷と等尺性ハンドグリップ負荷による機能的重症度の比較 (図6)

両負荷の機能的重症度を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ で表わし比較検討した. 図6に示す如くC群 (○) は右上方に位置し, A-II群 (■) は左下方に位置し, A-I群 (▲) はその中間に位置した. 両者は, 異なつた負荷様式にもかかわらず, 全体として $r = 0.641$ ($P < 0.01$) の良い相関を示した.

考 案

本研究における労作性狭心症群 (A群) の症例は, 労作時のみ狭心症が発現し, 心電図にてもRI負荷心筋シンチにても陽性を示した者である. またコントロール群の症例 (C群) は, 神経循環

無力症と異型狭心症を含めたが, それらは労作により狭心症を誘発されず, また心電図上にもRI負荷心筋シンチにても陰性であり, 冠動脈造影上有意の狭窄がない者でありかつ血行動態上もほぼ同傾向の成績が得られた. 従つて本研究ではそれらを一括してC群として取扱つた.

本研究の目的の第一は, dynamic exerciseにより狭心症を誘発した時の血行動態変化を観察し, 冠病変の重症度と対比することである. 従来, 狭心症の発症の前後での心機能は多くの報告がなされている¹⁾²⁾³⁾が, 経時的にその血行動態を観察した報告は少ない⁴⁾. これは心拍出量の測定が主にFick法と色素希釈法に限られ, 頻回に行なうことが出来ないためであつた. しかしながら狭心発作は一過性に出現するものであり, それに伴う血行動態を知るには時々刻々の変化を追求する必要がある. 今日熱希釈法の開発により, 数十秒間での測定により細かく経時変化を調べることが可能となつた. 著者の検討によれば, 熱希釈法による総負荷量2500kpm以内の運動による心拍出量の再現性は平均値に対して $\pm 5.7\%$ (SD) であり, またFick法との相関は $r = 0.988$ と良好で諸家の報告¹¹⁾¹²⁾と同様の成績であり, 信頼するに足る方法であることが確かめられた. この方法を用いて, 運動負荷による狭心症発症時の心機能 (SWI対LVFPの関係) の経時的推移を観察した. その結果, C群では上方にsteepに移動し, つまりLVFPの上昇は微かでSWIが著しく増加した. またA群は二つの型に大別されることが分かつた. すなわち運動の開始によりC群と同様に上方にsteepに推移し, 狭心症発作の発現に伴い右下方すなわちSWIは減少し, LVFPは上昇する. つまり心筋収縮不全を来す群と, 運動開始により直ちに右方に推移し心筋収縮不全を来す群とに分かれた. 前者には, CASによる軽症冠動脈病変の者が多く, 後者にはCASによる重症冠動脈病変の者が多かつた. この事は, 後者は前者に比しより重症であり, 安静時既に冠動脈病変のみならず心筋自体の線維化などの病変, または心内膜側の虚血性

変化のおこっている可能性が考えられる。Cohenら¹³⁾は、誘発狭心症発作の有無と血行動態反応の異常は相関したと述べた。一方Lichtlen¹⁴⁾らは虚血だけなら左室壁コンプライアンスの減少があつても左室収縮機能は正常なことがあるとし、また狭心症発作の前に左室拡張終期圧の異常亢進が認められることにより、誘発狭心症の発症の有無と血行動態反応は必ずしも平行しないと述べた。Jengoら¹⁵⁾は、運動負荷により冠動脈狭窄部に一致して左室壁収縮異常が出現し、左室駆出分画の減少がおこり、そして心収縮機能の低下がおこることを示した。一方Uptonら¹⁶⁾は、狭心症発作と心電図ST低下以前に左室壁運動の異常が認められるという。この様に狭心痛と心電図の虚血性変化と心機能との関係は、なお不明な部分が多い。本研究は対象を正常冠病変群、軽症冠病変群と重症冠病変群に分け、狭心症発現前後の血行動態変化を経時的に検討し、それらの解明に若干の寄与をなし得たものと考ええる。

本研究の目的の第2は、dynamic exerciseとstatic exerciseの成績と比較することである。著者は、両法の機能的重症度を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ の指標で表わし検討した。両法は異なつた負荷様式にもかかわらずdynamic exerciseによる $\Delta SWI/\Delta LVFP$ とstatic exerciseのそれとは良い相関を示した。またそれは冠動脈病変の重症度とも良く相関した。労作性狭心症を対象として、dynamic exerciseとstatic exerciseの成績を比較した報告は、Sonnermark¹⁷⁾とCohn¹⁸⁾を除き殆どない。Sonnermarkら¹⁷⁾は、RI心プールスキャンを用い左室駆出分画(EF)を両法で比べた。dynamic exerciseでは、EFは正常者では増加し、虚血性心疾患では不変であつた。static exerciseは、正常者では増加し、虚血性心疾患では減少したと報告したが、彼らの成績ではその際の他の重要な血行動態諸変化の検討がなされていない欠点がある。Cohnら¹⁸⁾は、dynamic exercise, static exerciseと左室内容量負荷の3者の成績を $\Delta SWI/\Delta LVFP$ で比較した。その結果は、容量負荷が -0.6 ± 0.4 , dynamic

exerciseが 1.4 ± 0.7 , static exerciseが 0.3 ± 0.5 であつた。しかし、dynamic exerciseとstatic exerciseの両者で個々の症例での相関を検討していない。またこの結果は、dynamic exerciseよりstatic exerciseの方が心機能の低下が著しく、著者の成績と異なつた。その理由は、彼らの報告では虚血性心疾患に心筋硬塞を含めたこと、そしてdynamic exerciseの負荷量は心拍数100拍/分までを目安とし、static exerciseのハンドグリップの負荷量は最大握力の50%で、2分間にて行ない、共に狭心痛の有無を問題にしないのに反し、著者のdynamic exerciseは狭心痛の発現を目安とし、ハンドグリップは最大握力の1/3で3分間にて行なつた。つまり対象、負荷様式と負荷量の相異が成績を異にしたと考える。

本研究の目的の第3は、虚血性心疾患におけるstatic exerciseの有用性を検討することである。等尺性ハンドグリップ負荷法は、負荷に伴う体酸素消費の増加は少なく、短時間に主に後負荷が増加し、心予備力を知る検査として評価されてきた⁷⁾が、虚血性心疾患の診断法としては心電図の虚血性変化や狭心痛の発現が少なく、dynamic exerciseに比して有用性が乏しく⁶⁾²⁰⁾その知験も少なく評価も定かでなかつた。香取ら⁹⁾は、最大握力の30%にて冠静脈洞血流量は平均19.8%増したが、心筋酸素消費量も20.0%増し、虚血心においては心筋虚血を増強して嫌気性代謝に導くと結論した。またBodenheimerら⁹⁾は本負荷中の左室壁異常運動の出現を報告した。Cohnら¹⁰⁾は、冠動脈病変を有する者には本法中第4音の発生を認め、左室コンプライアンスの減少と関係があると考えた。著者の成績では、ハンドグリップ負荷中A群では1例を除き、狭心症の発現や心電図上の虚血性変化を認めなかつた。それにもかかわらず $\Delta SWI/\Delta LVFP$ はC群に比し低値を示し、それは、dynamic exerciseと同傾向であつた。つまりC群ではLVFPがあまり変化せずSWIが増加し、A群ではSWIの変化が少なくLVFPの増加がみられた。前者は、Frank-Starlingの機序によらない心

筋収縮性の増大を反映する所見と考えられる。後者は、心筋収縮障害のある心臓に後負荷を加えたときの反応に一致する。ハンドグリップ負荷に際し、血中カテコールアミンの増加することが知られており¹⁹⁾、したがって以上の血行動態変化は交感神経活性の増大に基づくものと考えられた。その際に心電図変化をおこしにくい理由としては、static exerciseにおいては大動脈拡張期圧の上昇により、冠動脈狭窄の存在下でも冠血流は増加し²⁰⁾、われわれの負荷量では、心筋酸素需要供給関係はおおよそ均衡状態にあるか、または限られた範囲での軽度の不均衡状態にとどまり、後負荷の増大に対する血行動態変化の影響が強く出て、心電図変化は乏しかつたものと思われる。本法の虚血性心疾患への評価はまだ不定であるが、ベットサイドで手軽に行なうことが出来、しかも狭心症を誘発することなく、狭心症例の重症度を血行動態的に評価することが出来、臨床的に有用な方法と考えた。

結 論

正常冠動脈と考えられるコントロール群 (C群) 6名と、労作性狭心症群 (A群) 11名にdynamic exerciseとstatic exerciseを行ない、その血行動態変化を検討した。

1) Dynamic exerciseは、仰臥位エルゴメーターで行ない、A群は全例狭心症が発現した。心機能 (SWI対LVFPの関係) の推移をみると、C群は上方にsteepに推移し、一方軽症冠動脈病変群は、運動当初上方にsteepに推移し、狭心症の発現に伴い右下方に偏位した。それは心筋収縮不全を呈したためと考えられた。重症冠動脈病変群は、運動当初より右方に推移し、心筋収縮不全を示唆した。

2) Static exerciseは、等尺性ハンドグリップにて行なつた。狭心症の発現を目的としない軽量の負荷にもかかわらず、C群と異なり、A群では心筋収縮不全を示す血行動態が得られた。

3) Dynamic exerciseとstatic exerciseの機能的重症度を Δ SWI/ Δ LVFPで表わすと、両者は異な

つた負荷様式にもかかわらず良い相関を示した。

4) Dynamic exerciseとstatic exerciseの機能的重症度 Δ SWI/ Δ LVFPは、冠動脈病変の重症度 (CAS) とも良い相関を示した。

以上より、dynamic exerciseと同様に、static exerciseは軽量負荷にもかかわらず心機能の評価方法として、臨床的に有用と考えられた。

文 献

- 1) McCallister BD, et al: Left ventricular performance during mild supine leg exercise in coronary artery disease. *Circulation* 37: 922, 1968.
- 2) Parker JO, et al: A hemodynamic study of acute coronary insufficiency precipitated by exercise. *Amer J Cardiol* 17: 470, 1966.
- 3) Wiener L, et al: Left ventricular hemodynamics in exercise-induced angina pectoris. *Circulation* 38: 240, 1968.
- 4) Carlens P, et al: Left ventricular pump function in effort angina. *Europ J Cardiol* 10: 475, 1979.
- 5) Conti CR: Coronary arteriography. *Circulation* 55: 227, 1977.
- 6) Helfant RH, et al: Use of bicycle ergometry and sustained handgrip exercise in the diagnosis of presence and extent of coronary heart disease. *Brit Heart J* 35: 1321, 1973.
- 7) Helfant RH, et al: Effect of sustained isometric handgrip exercise on left ventricular performance. *Circulation* 40: 982, 1971.
- 8) 香取 瞭, 他: Isometric hand grip exerciseによる心疾患患者の冠血流量および心筋乳酸代謝. *心臓* 8: 685, 1976.
- 9) Bodenheimer MM, et al: Detection of coronary heart disease using radionuclide determined regional ejection fraction at rest and during handgrip exercise; Correlation with coronary arteriography. *Circulation* 58: 640, 1978.
- 10) Cohn PF, et al: Diastolic heart sounds during static (handgrip) exercise in patients with chest pain. *Circulation* 47: 1217, 1973.
- 11) Sørensen MB, et al: Cardiac output measurement by thermal dilution; Reproducibility and comparison with the dyedilution technique. *Ann Surg* 183: 67, 1975.
- 12) Ganz W, et al: A new technique for measurement of cardiac output by thermodilution in man. *Amer J Cardiol* 27: 392, 1971.

- 13) Cohen LS, et al: Hemodynamic studies during angina pectoris. *Circulation* 31: 409, 1965.
- 14) Lichtlen PR, et al: The role of left ventricular abnormalities in exercise-induced performance in patients with severe coronary artery disease. *Cardiologia* 54: 295, 1969.
- 15) Jengo JA, et al: Effects of maximal exercise stress on left ventricular function in patients with coronary artery disease using first pass radionuclide angiocardigraphy; A rapid, noninvasive technique for determining ejection fraction and segmental wall motion. *Circulation* 59: 60, 1979.
- 16) Upton MT, et al: Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise before angina and ST-segment depression. *Circulation* 62: 341, 1980.
- 17) Sonnermark RE, et al: Ejection fraction response to exercise; A comparative study of isometric and dynamic exercise. *Circulation* 58: Supple 11, 1978.
- 18) Cohn PF, et al: Effects of angiographic contrast medium on left ventricular function in coronary artery disease: Comparison with static and dynamic exercise. *Amer J Cardiol* 32: 21, 1973.
- 19) Kozlowski S, et al: Plasma catecholamines during sustained isometric exercise. *Clin Sci Mol Med* 45: 723, 1973.
- 20) Kerber RE, et al: Myocardial ischemic effects of isometric, dynamic and combined exercise in coronary artery disease. *Chest* 67: 388, 1975.