

心拍数と心筋酸素消費量

—1 心拍当たりの心筋酸素消費量 と心拍数の関係—

岡山大学医学部第一内科教室（主任：長島秀夫教授）

原岡昭一・斎藤大治・庵谷和夫
長花晴樹・藤井章伸・間嶋行造

（昭和55年5月23日受稿）

Key words: 心拍数, 心筋酸素消費量
左室内圧, 収縮時間

心筋酸素需要が心拍数と密接な関係を有することは古くから知られている¹⁾。しかし、この両者が厳密な意味で直線的関係を有するのか、あるいは心拍レベルにより心拍当たりの酸素消費量に差があるのかについては、殆んど報告がない。そこで著者らは、麻醉開胸犬を用いてほぼ一定の血圧下で心拍数を変化させ、各心拍レベルでの1心拍当たりの酸素消費量を測定した。さらにその両者の関係を生ずる機構についても、左室圧を中心に2～3の検討を行った。

方 法

9～17kgの雑種成犬12頭を opium hydrochloride (3mg/kg) の皮下注射にて前麻酔し、30分後 sodium chloralose (110mg/kg) にて静脈麻酔した。70%空気と30%酸素の混合気体にて人工呼吸下に左第4肋間で開胸し、左鎖骨下動脈経由で左冠動脈主幹部に Gregg 型 cannula を挿入固定した。左冠動脈は左頸動脈に挿入したカテーテルを Gregg 型 cannula に接続して by-pass を作成することにより、自己血液にて灌流を行った。冠血流量は by-pass 中に電磁血流計を挿入して測定した。次いで大腿動脈より腹部大動脈にカテーテルを挿入して動脈血圧を電気血圧計 (Statham Model p23Db) にて測定した。また冠静脈血を採取するため、側孔

を有し、先端の閉じた小カテーテルを心外膜より冠静脈洞に刺入し、カテーテルの側孔が洞入口部より1～1.5cm上流になるように固定した。血液酸素含量は Lex-O₂-con TL にて測定し、ガス分圧の測定には Corning Model 165 を使用した。動脈血 pO₂, pCO₂ 及び pH はくり返し測定し、必要に応じて1.3%重炭酸ナトリウム液の点滴静注および呼吸量の調整を行うことで、動脈血ガスの値を生理的範囲内に維持した。

まず control 時の血圧、冠血流量の記録と動脈血及び冠静脈血を採取した後、control 時(洞調律)の心拍数より20～90beats/min 高い頻度で左心房を pacing した。2～3分後新しい steady-state に達すると、再び同様の記録及び血液採取を行った。その後さらに別の頻度で pacing して、1頭につき2～3種類の異った心拍数での観察を行った。

心拍数の変化に伴う心筋酸素消費量の変動を規定する因子を検討するため、別に5頭の犬を用いて以下の実験を行った。麻酔、手術方法等は前述と同様であるが、心尖部より硬く短いカテーテルを左室内に挿入し、左室圧を冠血流量、大動脈血圧とともに Jet-Recorder (Shiemens Model 800) を用いて紙送り速度100mm/sec で記録し、Sarnoff らの Tension-Time-Index²⁾ の概念に従って分析した。

心筋酸素消費量は冠動脈酸素較差 (vol %) と冠血流量 (ml/min/100g LV muscle) の積から求めた。

成 績

12頭102回の実験のうち、平均大動脈血圧が 95~105mmHg にあった46頭の成績について分析した。洞調律時の心拍数は 112 ± 18 beats/min (平均土標準偏差)、左室拡張末期圧は 6 ± 2 mm Hg であった。左房 pacing により、左室拡張末期圧は不变ないしやや低下する傾向を認めたが (4 ± 2 mmHg)、統計的には有意ではなかった。

分時心筋酸素消費量 (\dot{MVO}_2) は図1に示すごとく心拍数 (HR) の変化と密接な正相関を示し、

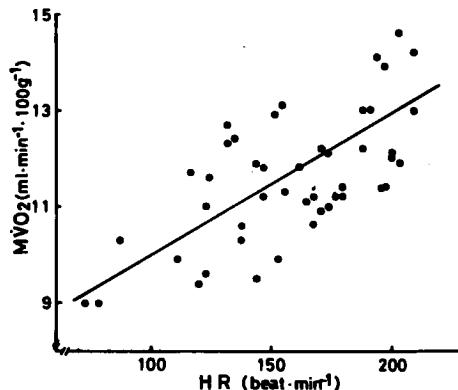


図1 心拍数と心筋酸素消費量。
分時心筋酸素消費量 (\dot{MVO}_2) は心拍数 (HR) と正相関を示す。
 $\dot{MVO}_2 = 0.027HR + 7.5$,
 $r = 0.71$, $P < 0.01$

両者の関係は \dot{MVO}_2 (ml/min/100g LV muscle) = $0.027HR + 7.5$ ($r = 0.71$, $P < 0.01$) で示された。一方、1心拍当りの心筋酸素消費量 (\dot{MVO}_2 -Beat) は、心拍数と負の相関を示し(図2)、心拍数の増加とともに1心拍当りの心筋酸素消費は減少した。
[\dot{MVO}_2 -Beat(ml/100g LV muscle) = $-0.00036HR + 0.13$, $r = -0.86$, $P < 0.01$]

\dot{MVO}_2 -Beat が心拍数と負の相関を示す機構を分析するため、5頭、15回の実験について、左室内圧曲線下の面積と心拍数及び \dot{MVO}_2 -Beat との関係を検討した。左室圧曲線下の面積 (LVParea) は、Numonics Model 1239 を用いて、1心拍の左室圧曲線と左室圧ゼロ線とで囲まれる面積を測定し、連続する5拍の平均値を mmHg.

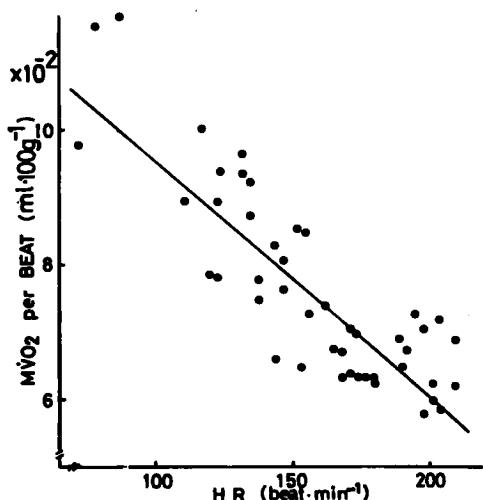


図2 心拍当りの心筋酸素消費量と心拍数。
心拍当りの心筋酸素消費量 (\dot{MVO}_2 per Beat) は心拍数 (HR) と密接な負の相関を示す。
 \dot{MVO}_2 per Beat = $-0.00036HR + 0.13$,
 $r = -0.86$, $P < 0.01$.

sec で表わした。図3に示すごとく、LVParea は、心拍数とは負の (LVParea = $-0.091HR + 35.15$, $r = -0.86$), \dot{MVO}_2 -Beat とは正の相関 (\dot{MVO}_2 -Beat = $0.0034 \times LVParea - 0.0063$, $r = 0.88$) を示した。

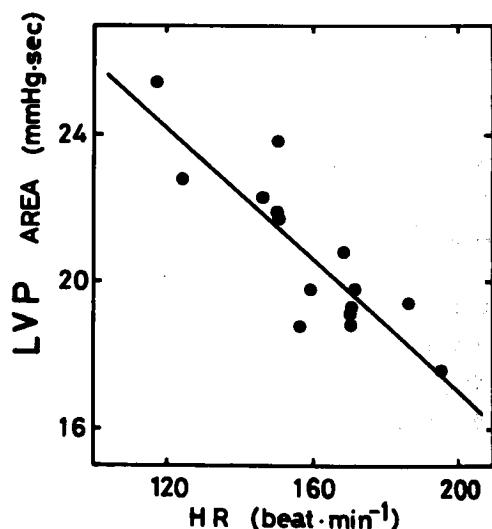
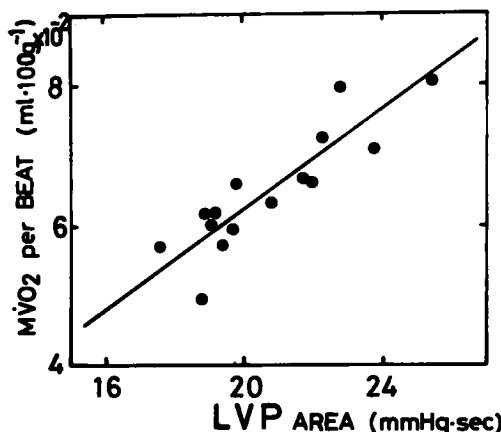


図3 左室圧曲線下面積と心拍数
左室圧曲線下面積 (LVParea) は心拍数 (HR) と負の相関を示す。
 $LVParea = -0.091HR + 35.15$,
 $r = -0.86$, $P < 0.01$



- 1) 血圧が一定である場合は、心筋酸素消費量は毎分 ($-0.00036\text{HR}^2 + 0.13\text{HR}$) となり、心拍数の二次式で表現される。
- 2) 1心拍当りの酸素需要の減少機構は、主として収縮時間（心筋張力持続時間）の短縮によるものと考えられた。
- （長島教授の御校閲を深謝します。）

文 献

1. Eckenhoff, J.E., Hafkenschiel, J.H., Landmesser, C.M. and Harmel, M.: Cardiac oxygen metabolism and control of the coronary circulation. *Am. J. Physiol.* 149, 634—649, 1947.
2. Sarnoff, S.J., Braunwald, E., Welch, G.H., Jr., Case, R.B., Stainsby, W.N. and Macruz, R.: Hemodynamic determinants of oxygen consumption of heart with special reference to tension-time index. *Am. J. Physiol.* 192, 148—156, 1958.
3. Braunwald, E.: Control of myocardial oxygen consumption: physiologic and clinical considerations. *Am. J. Cardiol.* 27, 416—432, 1971.
4. Bruce, R.A.: Exercise testing of patients with coronary heart disease. *Ann. Clin. Res.* 3, 323, 1971.
5. Prichard, B.N.C.: β -adrenergic blocking drugs in angina pectoris. In *β -adrenoceptor Blocking Drugs*, ed. G.S. Avery, Univ. Park Press, Baltimore, London and Tokyo, pp.85—118, 1978.
6. Starling, E.H. and Visscher, M.B.: The regulation of the energy output of the heart. *J. physiol.* 62, 243—261, 1926—27.
7. Cohn, A.E. and Steele, J.M.: The influence of frequency of contraction of the isolated mammalian heart upon the consumption of oxygen. *Am. J. Physiol.* 113, 654—658, 1935.

**Inverse relationship between heart rate
and myocardial oxygen consumption per beat**
**Shoichi HARAOKA, Daiji SAITO, Kazuo IHORIYA,
Haruki NAGAHANA, Akinobu FUJII and Ikuzo MASHIMA**

The First Department of Internal Medicine, Okayama University Medical School,

Okayama

(Director : Prof. H. Nagashima)

Relationship between heart rate and myocardial oxygen consumption per beat was studied in anesthetized open-chest dogs. Myocardial oxygen consumption per minute (\dot{MVO}_2) was calculated as the product of the left coronary artery blood flow and coronary arterio-venous oxygen difference. Myocardial oxygen consumption per beat ($\dot{MVO}_2\text{-Beat}$) was the quotient of \dot{MVO}_2 divided by heart rate (HR). HR was varied in 78–210 beats/min with left atrial pacing. Systemic arterial and left ventricular enddiastolic pressure were kept constant, and arterial blood gases were within physiological ranges. Although \dot{MVO}_2 correlated significantly with HR ($r=0.71$), $\dot{MVO}_2\text{-Beat}$ decreased in association with an increase in heart rate. Closer relationship was observed between $\dot{MVO}_2\text{-Beat}$ and HR; $\dot{MVO}_2\text{-Beat}$ (ml/100g LV muscle) = $-0.00036 + 0.13$, $r=-0.86$, $P < 0.001$. As the results, \dot{MVO}_2 was represented as a quadratic equation of HR; \dot{MVO}_2 (ml/min/100g LV muscle) = $-0.00036HR^2 + 0.13HR$. There was a good correlation ($r=0.88$) between $\dot{MVO}_2\text{-Beat}$ and the area under a stroke left ventricular pressure curve. This finding and constant systemic arterial and left ventricular pressure suggest that the inverse relationship between $\dot{MVO}_2\text{-Beat}$ and HR is mainly due to a reduction in duration of systolic left ventricular wall tension.