

4. 小児に対する運動負荷試験

4-a 心拍数と酸素消費量による運動負荷中の一回心拍出量の推定

本田 憲, 砂川 博史, 溝口 康弘
福田 省史, 岩尾 初雄 (福岡市立こども病院)

1. 目的

運動耐容能は最大酸素摂取量 ($\max \dot{V}_{O_2}$) の大きさに比例するとされている。

ところで, \dot{V}_{O_2} を決定する因子は, 分時拍出量 (CO) と動静脈酸素較差に大別されるが, その中で, 循環動態に関連する因子は当然前者 CO である。しかも CO は〔1 回心拍出量 (SV) × 心拍数 (HR)〕であり, 従って, 心機能に異常が存在する可能性のある心疾患児の運動耐容能を判定するに当っては, 運動負荷に伴う HR の変化とともに SV の動態を知ることが重要と考えられる。

我々は, 運動負荷に伴う \dot{V}_{O_2} と HR の変化の間に, $\dot{V}_{O_2} = A \times HR + B$ の極めて良好な直線相関があり, 両者の相関係数平均値は 0.96 以上であること, および運動選手群では, 普通児, 心疾患児に比して A および B の絶対値が大きく, その数値がこの三群を区分する指標になることをすでに報告したが, 今回は, \dot{V}_{O_2} と HR の運動時変化から SV の推定が可能である結果を得たので報告する。

2. 対象および方法

対象は 6 才から 15 才 7 カ月 (平均 10 才 10 カ月) の男子 62 名で, うち 17 例は運動選手, 29 例は心疾患児, 16 例は普通の小中学生である。

運動負荷はトレッドミルを使用し, Bruce による段階的負荷を行い, 負荷中の \dot{V}_{O_2} はアニマ R 1500 S を用いて 30 秒毎に測定し, HR は心電図の瞬時心拍を連続的に測定し, 各 30 秒の平均値を求めた。

また, 2 症例においては, CO, \dot{V}_{O_2} , HR の相関を検討するため, 稀釈法による CO と \dot{V}_{O_2} および HR を運動負荷中に測定した。

3. 数式の検討

\dot{V}_{O_2} と HR と 間には, $\dot{V}_{O_2} = A \times HR + B$ ……①の相関があることはすでに述べた。

一方, CO と \dot{V}_{O_2} との間には, 我々の成績では以下の直線相関式が得られた。すなわち, $CO = 0.00527 \times \dot{V}_{O_2} + 5.404$ である。

また, Donald ら⁷⁾は CO と \dot{V}_{O_2} との間に,
 $CO = 0.00534 \times \dot{V}_{O_2} + 3.708$

の相関を認めており、Lock ら⁸⁾は、

$$CO = 0.0065 \times \dot{V}_{O_2} + 3.48$$

の相関式を報告している。いずれも極めて近似した直線関係である。

従って、CO と \dot{V}_{O_2} との間には、

$$CO = Q \times \dot{V}_{O_2} + C \cdots \cdots \textcircled{2}$$

の直線相関があることが推定され、しかも、極端な貧血や多血症が存在しない限り、等式②のQおよびCは症例を問わずほぼ一定の定数と考えられる。

従って①および②より

$$\begin{aligned} CO &= Q \times (A \times HR + B) + C \\ &= Q \times A \times HR + Q \times B + C \cdots \cdots \textcircled{3} \end{aligned}$$

となり、しかも $SV = CO/HR$ であるから、

$$SV = Q \times A + (Q \times B + C)/HR \cdots \cdots \textcircled{4}$$

と表わされる。さらに、前述の如く、QおよびCが定数だとすれば、SVはA、B、HRによって規定される変数ということになる。

例えば、Q、CにDonaldの定数0.0053および3.708を用い、Bを-30と仮定すれば、A値の変化によって図14が得られ、Aを0.40と仮定すればB値の変動に伴って図15が得られる。

すなわち、 $\dot{V}_{O_2} = A \times HR + B$ の勾配Aは、収斂するSVの最大値を規定しており、Aが大きいほどSVが大きくなりうることを示し、Bは一定のSVに達する曲率を示すparameterであって、Bの絶対値が小さい程運動によるSV上昇の可能性が少いことを示している。

4. 成績

症例250において実測値とSVとHRの相関の理論値は良く一致することが示され、前述のSVとA、B値の理論的計算式④は生体においてもかなりよく適用できることが分った。

各症例のA、B実測から計算されるSVの心拍数変化に伴う理論値を図16、17に示した。

図16は運動選手群、図17は心疾患群であるが、運動選手群では、心拍数75/分でのSV 1.0~1.5 ml/kgが、運動負荷によって心拍数190に達した時点でのSV 1.5~2.0 ml/kgへと全例増大しているのに対し、心疾患群重症例では、心拍数75から190までSVが増大しえず、しかも、最大SVが1.5 ml/kg以下であることを示している。

このように、SVが $\dot{V}_{O_2} = A \times HR + B$ 式のAおよびBの変数であり、かつ、AおよびBの絶対値が大きいほど運動耐容能が良好であるとの結論から、SVの一つの指標として

图14 SV vs. parameter A

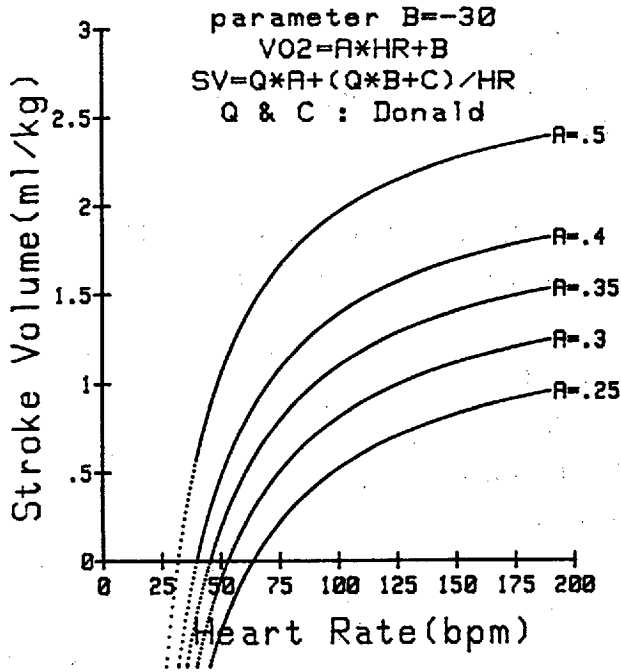
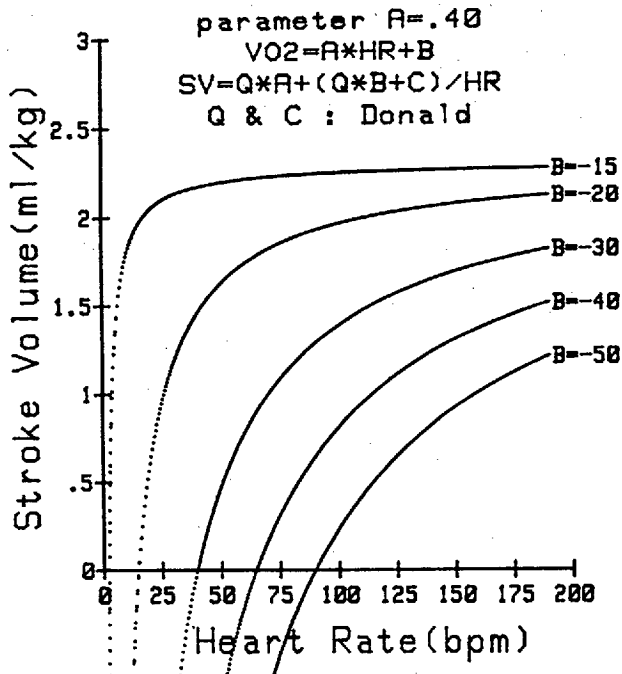
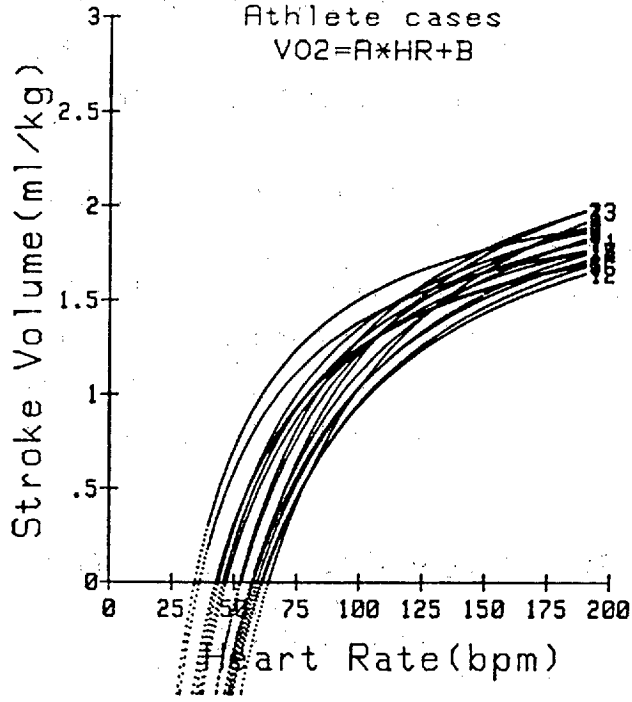


图15 SV vs. parameter B



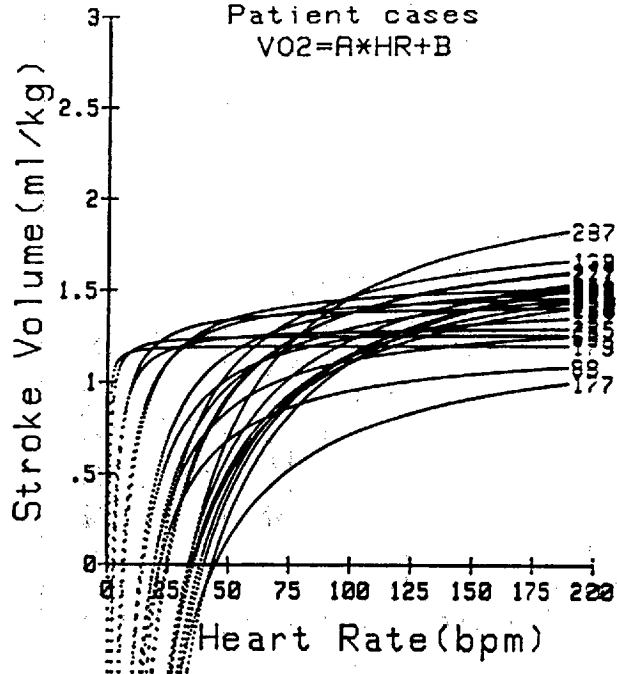
16 SV vs. parameter A, B

Athlete cases
 $V_{O_2} = A \times HR + B$



17 SV vs. parameter A, B

Patient cases
 $V_{O_2} = A \times HR + B$



|A × B| を用いることによってより明確に運動耐容能を区分できる可能性があると思われる。図18にその結果を示した。A値のみをもって比較する場合との優劣は推計学的には証明できないが、すくなくとも運動選手群と心疾患群との区分は明瞭化している。

5. おわりに

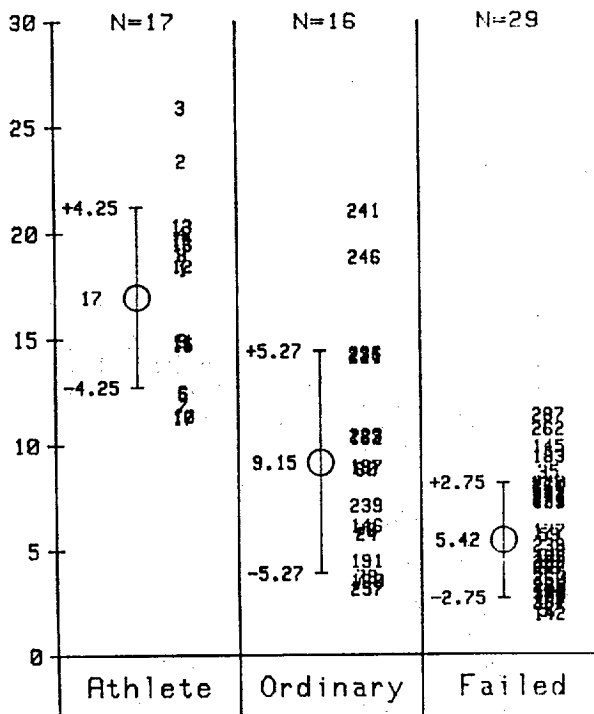
$\dot{V}O_2$ と HR を測定することによって SV の推定が可能であり、心機能の差による運動耐容能の変化に一步近づきえたと考えられる。

我々の成績からは、心疾患児の運動耐容能判定に際しては、運動負荷による HR の変化を測定するだけでは不十分であり $\dot{V}O_2$ の同時測定が必要であること、および、HR と $\dot{V}O_2$ の測定は必ずしも運動負荷全過程を通じて連続的である必要はなく、心拍数が十分に分離した2点での HR と $\dot{V}O_2$ の測定が実施できればその症例の運動耐容能を判定できると考えられる。

図18 SV index IN EACH GROUP

$$VO_2 = A * HR + B$$

$$SV_i = ABS(A * B)$$



不整脈症例における運動負荷の意義は本研究とは別個に考えられるべきであることは当然であるが、心拍出力等の心機能に問題のある症例での運動負荷の方法とその意義については今回の結果が適応できるものと考えられる。運動負荷の様式を問わず運動耐容能を推定できる方法として $\dot{V}O_2 = A \times HR + B$ の A, B を計測することの有用性と意義について述べた。

4-b ファロー四徴術後患児に対する簡易運動負荷検査 (ジャンプテスト)

若 林 良, 小 佐 野 満 (慶応義塾大学医学部小児科)

1. 目的

心臓手術の究極的な目標は患児の血行動態 (Hemodynamics) の改善と、活動能力 (Functional capacity) の向上をはかり、良好な長期予後を保証することにある。今回我々は、ファロー四徴術後患児を対象にその活動能力を評価する目的で、簡易運動負荷法として、ジャンプ負荷を行い、トレッドミル負荷成績との異同を検討するとともに、健康児と術後児のジャンプ負荷に対する反応を比較し、術後評価の一助とした。

2. 対象と方法

対象は、ファロー四徴術後の患児11例 (男9名, 女2名, 年齢6~13歳, 術後3~9年) および、性、年齢、体重をマッチングさせた健康児11例である。術後群のうち9例は、術後心臓カテーテル検査により、血行動態改善の評価がなされており、残存短絡例はなく、右室圧は平均 44 ± 11 (SD) mmHg であった。

術後群は3分間を目標に、自由なテンポで連続跳躍を行い、10分以上の安静ののち、Bruce プロトコールによるトレッドミル負荷を、本人の耐えられる限度まで負荷した。

健康群は、ジャンプ負荷のみを行った。

負荷中および負荷前後安静時の心拍数、酸素消費量、心電図、物理的負荷量が、測定記録された。ジャンプ中の物理的負荷量の測定は、独自開発した定量装置⁹⁾を用い、各症例毎の跳躍負荷量に偏りがなかったかどうかを検討した。尚、安静時心拍数および酸素消費量は30秒毎記録の連続4記録値を加算平均したものとし、心電図波高も連続4心拍の波高の平均値をとった。負荷中、負荷後の心拍数、酸素消費量、R波高、T波高は、いずれも安静時を100%とした百分率で表示した。

有意差検定は paired t-test を用いた。