

健康づくりのための心肺持久性評価指標としての
相対心拍数増加率の実用的意義
Practical Significance on Slope of Relative Heart Rate on
Work Rate ($\Delta\%HR/\Delta WR$) for Cardiorespiratory Endurance Index
for Health Promotion

吉岡隆之・近森栄子・白石龍生
Takayuki Yoshioka, Eiko Chikamori, Tatsuo Shiraishi

キーワード： 心肺持久性 相対心拍数 健康づくり
(Cardiorespiratory Endurance) (Relative Heart Rate) (Health Promotion)

I. はじめに

近年、近代化の進んだ諸国において同時に高齢化が進行し、いわゆる生活習慣病及び生活習慣病予備群の量的増大が顕在化しつつあり、運動器症候群（ロコモティブシンドローム）、さらには廃用症候群（寝たきり）の増加が懸念され、大きな社会問題になっている。このような状況で、特に身体活動水準の低下は、虚血性心疾患、高脂血症、高血圧症、肥満症、糖尿病、痛風、脳血管障害などの生活習慣病の誘因の一つとしてますます憂慮されるようになり、身体活動水準を高めることにより生活習慣病を予防し、健康の維持・増進をはかろうとする様々な施策が各国で講じられている。

ここで留意すべきことは、ただ漠然と「身体活動水準を高める」というのではなく、個々人のレベルで体力水準を適切に評価し、その評価に基づき日常的に行う適度な身体活動がどのようなものであるかを助言・指導することである。従来、身体のトレーニングやコンディショニングは競技者のためのものであり、その主な目的は競技成績向上、スポーツ障害の予防あるいはそのリハビリテーションなどであった。したがって、その基になる体力水準の評価法は、日常的に身体トレーニングを行っていない一般健常人（以下、一般健常人）が健康づくりの目的で行うためのものとしては適当でない点も多い。

健康と最も関係が深いと考えられている体力の一つに心肺持久性があるが、これは「大筋群を使用した中等度から高度の最大下の強度の動的運動を持続的に行う能力」と定義される。このような運動のパフォーマンスは、呼吸器系、循環器系及び骨格筋の機能的な状態に依存しており、心肺持久性が低いことは、身体活動水準の低下ひいては生活習慣病の危険性の増大と関連があり、逆に高いことは、習慣的な身体活動水準を高め、多くの健康上の効果が得られるとされている（American College of Sports Medicine 1991a）。

この心肺持久性の評価法については、従来から最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2 \max$ ）を基にしたものが主流であり、 $\dot{V}O_2 \max$ の直接測定は最大運動（最大努力を必要とする運動）時の呼気ガス分析により行われる（Åstrand and Rodahl 1986）。この直接測定には呼気ガス分析器などの高価な装置が必要で、しかも測定時に最大努力を必要とするため、

一般健常人にとって適当な方法とはいえない (Hawley and Noakes 1992; Lockwood et al. 1997)。

現在、一般健常人を対象に行われる一般的な健康・体力測定において広く用いられている心肺持久性の評価法は、測定が簡便に、安全に、しかも安価に施行できるという観点から、最大努力を必要としない運動（以下、最大下運動）時の負荷量と心拍数（以下、HR）の応答に基づき $\dot{V}O_2 \text{ max}$ を推定する方法である（Åstrand 1960; Åstrand and Rhymining 1954; Fox 1973; Jessup 1977; Legge and Bannister 1986）。なかでも、従来から今日に至るまで最も広く用いられている $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の推定法は、自転車エルゴメータによる最大下運動時の仕事率（以下、WR）とHRの応答を基にÅstrandとRhymining（1954）が考案したノモグラム（nomogram）から $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の推定値を求め、さらにその推定値を年齢補正する方法（Åstrand 1960）である。しかし、このような方法では、負荷量に対するHRの応答の個人差が大きい上に、その応答を実際には測定していない酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2$ ）と負荷量の標準的な応答に当てはめて $\dot{V}O_2 \text{ max}$ を推定しているため、いくつかの誤差が重なり、妥当性という点で問題があると考えられる（Davies 1968; Lockwood et al. 1997）。事実、このような方法による $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の推定に関する先行研究では、実測値と推定値の相関係数は0.7~0.8程度と報告されているものが典型である（Åstrand 1960; Jessup 1977; Lockwood et al. 1997; Patton et al. 1982; Rowell et al. 1964）。すなわち決定係数（相関係数の2乗）から考えると、このような推定法では49~64%程度しか実際の $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の説明がつかないことになる。

このような問題点にもかかわらず、健康づくりを目的としたフィットネスクラブや公共の施設などでは、特に自転車エルゴメータを用いて、概ね上述のような推定法が施されている持久性テストにより個人の心肺持久性を評価しているのが現状である。通常、その評価を参考にして、健康づくりのために日常的に行う身体活動について助言・指導が行われるが、助言・指導にあたる運動指導担当者の多くは、コンピュータから出力された結果（ $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の推定値）がその個人の実際の心肺持久性を反映していないと経験的に感じることもある。しかし、多くの場合、推定法やデータ処理の途中経過を特に意識することなく、結局、コンピュータから出力された結果に基づき助言・指導が行われている。

このような健康づくり施設における心肺持久性の評価の現状に対する強い疑問から、著者らは、健康づくりの目的で一般健常人が利用するために、測定が簡便に、安全に、安価に施行でき、しかもデータ処理の途中経過や推定法がより明確で、より妥当性の高い心肺持久性の評価指標を考案した。具体的には、従来のように $\dot{V}O_2 \text{ max}$ を推定するのではなく、現在、健康づくりの現場で比較的普及している自転車エルゴメータ及びHRモニタを用いて、最大下の運動時の漸増あるいはランプ負荷に対する相対心拍数（以下、%HR）の増加率そのものを指標として評価する方法、すなわち相対心拍数増加率（以下、 $\Delta \%HR / \Delta WR$ ）を指標とする評価法である。

これまで、この $\Delta \%HR / \Delta WR$ について、心肺持久性評価指標としての妥当性（Yoshioka and Shiraiishi 1996; 吉岡 他, 1997; 白石と吉岡 1998）、推定値の精度（吉岡と藤本 1998; Yoshioka and Fijimoto 2000）、性・年齢との関連（Yoshioka et al. 1999）、トレーニングによる影響（吉岡 他 2004）について検討を行った。

本稿では、健康づくりのための心肺持久性評価指標としての $\Delta \%HR / \Delta WR$ の実用的意義について、考案の経緯と求め方、体重補正值及び評価する際の留意事項の観点から考察を行った。

II. 相対心拍数増加率($\Delta \%HR / \Delta WR$)の考案の経緯と求め方

先述したように、一般健常人を対象に行われる一般的な健康・体力測定において広く用いられている心肺持久性の評価法は、測定が簡便に、安全に、しかも安価に施行できるという観点から、最大下の運動時の負荷量とHRの応答に基づき $\dot{V}O_2 \text{ max}$ を推定する方法である。

ここで起こる第1の疑問は、なぜ実際に測定もしていない $\dot{V}O_2$ を推定する必要があるのかということである。その理由として、過去に蓄積された $\dot{V}O_2$ maxに関する膨大な研究成果が考えられる。しかし、これらのほとんどは実測された $\dot{V}O_2$ maxに関する成果である。 $\dot{V}O_2$ を実測せずに負荷量とHRの応答から推定した $\dot{V}O_2$ maxは、あくまでも負荷量とHRの応答に起因する指標であり、実測された $\dot{V}O_2$ maxに関する成果を適用して考えるのは妥当ではない。

次に第2の疑問は、なぜ実際に測定している負荷量とHRの応答そのものを指標にしないのかということである。その理由として、HRの個人差が大きいことが挙げられる。安静時HR（以下、HRrest）の基準範囲は概ね40~100 beats/minとされているが、例えば、HRが同じ100 beats/minといっても、HRrestが40 beats/minの人とHRrestが100 beats/minの人では、その生理学的負担度は大きく異なる。このようにHRの絶対値は個人差が大きく、そのままでは生理学的負担度の指標として用いることは困難である。

ここで自転車エルゴメータを用いた漸増負荷運動におけるWRに対するHRの応答の個人差について考えてみたい。Figure 1 に示したように、漸増あるいはランプ負荷運動におけるWRとHRには、初期段階と最大運動付近を除くと、ほぼ直線関係がみられる。

このWRとHRの直線関係において、WRに対するHRの増加率（以下、 $\Delta HR/\Delta WR$ ）は「WRが1 W増加した時HRが何beats/min増加するか」を表しているが、これには最大心拍数（以下、HRmax）とHRrestの較差（以下、HRrange）の個人差は反映していない。例えば、HRmaxが同じ170 beats/minの人で、HRrestが50 beats/min（HRrangeが120 beats/min）の人とHRrestが90beats/min（HRrangeが80 beats/min）の人では、HRの増加が同じ10 beats/minでも、その生理学的負担度は全く異なる。要するにHRrangeが等しい人同士では、 $\Delta HR/\Delta WR$ を比較して心肺持久性の優劣を論じることができるが、そうでない場合は単にその絶対値を比較しただけで心肺持久性の優劣を論じることができない。

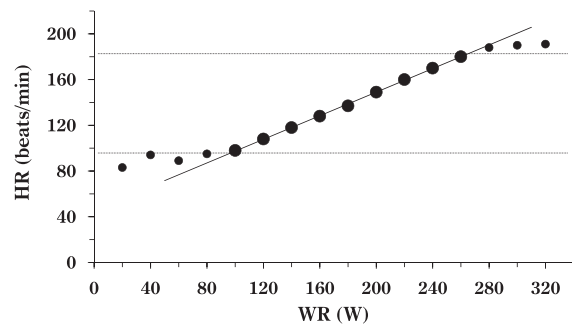


Figure 1. Individual relationship between heart rate (HR) and work rate (WR) during 1-min incremental exercise. Linear relationship is observed between HR and WR without first and last portions during exercise.

この点、一般健常人を対象として、健康づくりの目的で運動処方を行う際、運動強度の指標として広く用いられているものとしてKarvonen法による%HR（以下、Karvonen%HR）（Karvonen et al. 1957）が挙げられ、以下の式で表される。

$$\text{Karvonen\%HR} = (\text{HR on exercise} - \text{HRrest}) / (\text{HRmax} - \text{HRrest}) \times 100$$

$$\text{※}(\text{HRmax} - \text{HRrest}) = \text{HRrange}$$

※Karvonen%HRの単位は%、HRの単位はbeats/min

※推定値を求める場合はHRmaxの代わりに予測最大心拍数（以下、predicted HRmax）を用いる。

このKarvonen%HRは、HRrestを0%（base line）、HRmax（推定値の場合はpredicted HRmax）を100%としてHRrangeの百分率（%）で表わされており、負荷量に対するHRの応答を相対化しているため、上述したようなHRrangeの個人差をかなり克服した指標と考えられる（American College of Sports Medicine 1991b; Swain and Leutholtz 1997; Yoshioka and Fujita 1993; 吉岡 他 1995）。例えば、HRmaxが170 beats/min、HRrestが50 beats/minの人で

は、HRrangeが120 beats/minであるから、運動中のHRが12 beats/min増えるとKarvonen %HRが10%増えることになる。しかし、HRmaxが同じ170 beats/minの人でもHRrestが90 beats/minの人では、HRrangeが80 beats/minであるから、運動中のHRが8 beats/min増えるとKarvonen %HRが10%増えることになる。この場合、HRrestが50 beats/minの人のHRが12 beats/min増加するのと、HRrestが90 beats/minの人のHRが8 beats/min増加するのがほぼ同じ生理学的負担度となる。

そこで、まず、漸増あるいはランプ負荷運動中のWRとHRの直線関係において、各負荷段階のKarvonen%HRを上記の式より求め、WRに対するKarvonen%HRの増加率（以下、Karvonen $\Delta\%HR/\Delta WR$ ）が心肺持久性の評価指標になり得ると考えた。このKarvonen $\Delta\%HR/\Delta WR$ は「WRが1 W増加した時Karvonen%HRが何%増加するか」を表している。

ここで、Karvonen%HRのbase lineはHRrestであるが、Figure 2 に示したように、多くの場合HRrestは漸増あるいはランプ負荷運動におけるWRとHRの直線関係に当てはまらない。このためHRrestを漸増あるいはランプ負荷運動中のbase lineに用いることは整合性を欠くと考え、WRに関するHRの回帰直線の切片（HRbase）をbase lineに用いることによってKarvonen%HRを補正した相対心拍数（以下、Modified%HR）を考案した。このModified%HRは以下の式で表される。

$$\text{Modified\%HR} = (\text{HR on exercise} - \text{HRbase}) / (\text{HRmax} - \text{HRbase}) \times 100$$

※Modified%HRの単位は%、HRの単位はbeats/min

※推定値を求める場合はHRmaxの代わりにpredicted HRmaxを用いる。

このModified%HRは、HRbaseを0%（base line）、HRmax（推定値の場合はpredicted HRmax）を100%とする百分率（%）で表わされている。ここで、漸増あるいはランプ負荷運動中のWRとHRの直線関係において、各負荷段階のModified%HRを上記に示した式により求め、Figure 3 に示したように、WRに対するModified%HRの増加率、すなわち $\Delta\%HR/\Delta WR$ が心肺持久性を評価する際の指標としてよりの確であると考えた。この $\Delta\%HR/\Delta WR$ は「自転車エルゴメータによる漸増あるいはランプ負荷運動においてWRが1 W増加した時Modified%HRが何%増加するか」を表わす指標であり、値が小さいほど心肺持久性としては高いことになる。

YoshiokaとShiraishi (1996) は、健康な38名の学生（男性：25名、女性：13名）を対象に、自転車エルゴメータ

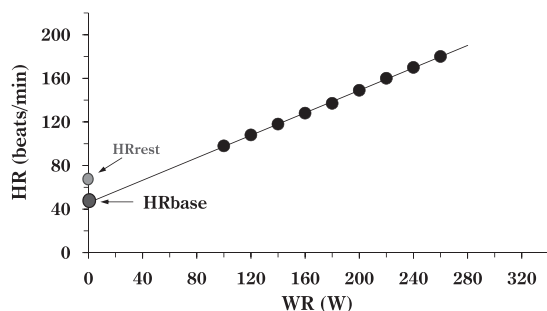


Figure 2. Individual linear relationship between heart rate (HR) and work rate (WR) during 1-min incremental exercise. Intercept of regression line of HR on WR is individual base line (HRbase) for modified relative HR (Modified%HR)

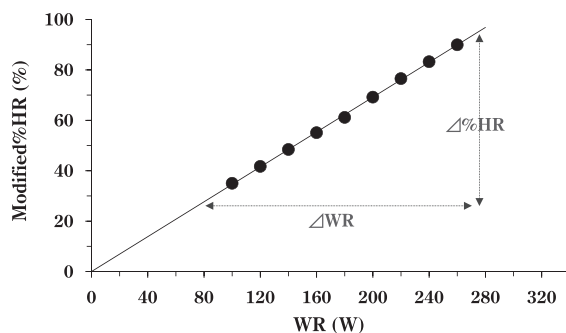


Figure 3. Individual linear relationship between modified relative heart rate (Modified%HR) and work rate (WR) during 1-min incremental exercise. Slope (coefficient) of Modified%HR on WR is indicated by $\Delta\%HR/\Delta WR$

を用いた1分漸増負荷テストにより、WRに対するModified%HR (HRbaseがbase line)の増加率である $\Delta\%HR/\Delta WR$ 、WRに対するKarvonen%HR (HRrestがbase line)の増加率(以下、Karvonen $\Delta\%HR/\Delta WR$)及びWRに対するHRの絶対値の増加率(以下、 $\Delta HR/\Delta WR$)を算出し、それぞれ $\dot{V}O_2 \max$ との相関を検討した。その結果、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関は $r=-0.91$ ($p<0.001$; SEE=8.6%)で最も高く、次いでKarvonen $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関は $r=-0.83$ ($p<0.001$; SEE=11.3%)、 $\Delta HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関は $r=-0.69$ ($p<0.001$; SEE=14.8%)であったと報告している。これらの結果は、Modified%HRの増加率を示す $\Delta\%HR/\Delta WR$ が、心肺持久性を評価する際の指標としてよりの確であるという上述の考えを支持するものである。

Ⅲ. 相対心拍数増加率($\Delta\%HR/\Delta WR$)の体重補正值

心肺持久性は「大筋群を使用した中等度から高度の最大下の強度の動的運動を持続的に行う能力」と定義されるが(American College of Sports Medicine 1991a)、一般的にはrunningやwalkingなど「体重移動を伴う運動を持続的に行う能力」と解される場合が多い。例えば、 $\dot{V}O_2 \max$ が同じ3l/minでも、体重が50kgの人と100kgの人ではrunningを持続的に行う能力(例えばマラソンの成績など)は、明らかに50kgの人の方が高い。このため $\dot{V}O_2 \max$ の絶対値(l/min)そのものは、「体重移動を伴う運動を持続する能力」を評価する指標としては的確ではない。そこで従来から、 $\dot{V}O_2 \max$ の絶対値(l/min)を体重で補正した値、すなわち $\dot{V}O_2 \max / BM$ (ml/kg/min) (体重1kgあたりの $\dot{V}O_2 \max$)を指標として「体重移動を伴う運動を持続する能力」の優劣が判断されている(American College of Sports Medicine 1991a)。著者が考案した $\Delta\%HR/\Delta WR$ についても、体重移動を伴わない運動負荷に対する心拍数の応答を指標としているため、 $\dot{V}O_2 \max$ と同様に、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の絶対値(%/W)そのものは「体重移動を伴う運動を持続する能力」を評価する指標としては的確ではない。そこで $\Delta\%HR/\Delta WR$ の体重補正值として、Figure 4に示したように体重(kg)あたりのWR(W)に対するModified%HRの増加率($\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$)を考案し、 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ が「体重移動を伴う運動を持続する能力」としての心肺持久性を評価する指標としての的確であると考えた。この $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は「自転車エルゴメータによる漸増あるいはランプ負荷運動において体重(kg)あたりのWRが1W増加した時Modified%HRが何%増加するか」を表わす指標であり、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と同様に、値が小さいほど心肺持久性としては高いことになる。 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は、計算上、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ に体重を乗じることによって求めることができる。

YoshiokaとShiraishi(1996)は、健康な38名の学生(男性:25名、女性:13名)を対象に、自転車エルゴメータを用いた1分漸増負荷テストにより行った研究において、体重補正值である $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ と $\dot{V}O_2 \max/BM$ の間には $r=-0.84$ ($p<0.001$; SEE=7.8%)の有意に高い負の相関が認められたと報告している。これに対し、 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関は $r=-0.59$ ($p<0.001$; SEE=16.4%)、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max/BM$ の相関は $r=-0.58$ ($p<0.001$; SEE=11.6%)であったと報告している。これらの結果は、 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ が「体重移動を伴う運動を持続する能力」としての心肺持久性を評価する指標としての的確であると

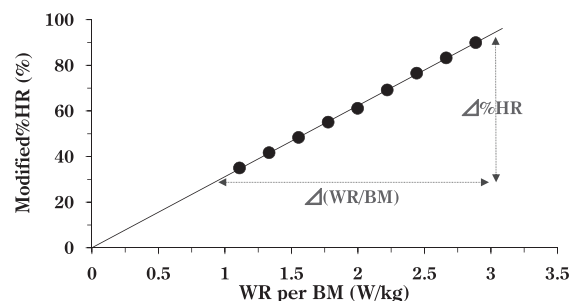


Figure 4. Individual linear relationship between modified relative heart rate (Modified %HR) and work rate (WR) per body mass (BM) during 1-min incremental exercise. Slope (coefficient) of Modified%HR on WR per BM is indicated by $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ as BM-related index.

いう上述の考えを支持するものである。

IV. 相対心拍数増加率($\Delta\%HR/\Delta WR$)を指標として評価する際の留意事項

1. 負荷方法

先述したように、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ は、自転車エルゴメータによる漸増あるいはランプ負荷運動における初期段階と最大運動付近を除くWRとHRの直線関係に基づいている。この直線関係は、無酸素性作業閾値(anaerobic threshold) (以下、AT)以下の強度では、WRの増加割合に関わらず認められ、AT以上の強度でも、漸増あるいはランプ負荷を開始してから最大運動に至るまでの時間が概ね6~12分であれば、WRの増加割合に関わらずほぼ認められる(Wasserman et al. 1987b)。また、ランプ負荷運動におけるWRとHRの応答は、1分間漸増負荷運動の応答と非常によく一致することが知られている(Davis et al. 1982; Whipp et al. 1981)。すなわち、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の測定値は、漸増あるいはランプ負荷を開始してから最大運動に至るまでの時間が6~12分の範囲であれば、WRの増加割合に関わらず同様の結果が得られることになる。

また、吉岡他(1997)は、健康な14名の女子学生を対象に、漸増間隔が大きい5分漸増負荷テストにより $\Delta\%HR/\Delta WR$ を求め、 $\dot{V}O_2 \max$ との相関を検討し、両者の間には $r=-0.92$ ($p<0.001$; $SEE=7.1\%$)の高い負の相関が認められ、体重補正值である $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ と $\dot{V}O_2 \max/BM$ の間にも $r=-0.90$ ($p<0.001$; $SEE=7.1\%$)の高い負の相関が認められたと報告している。これらの結果は、漸増間隔が大きい負荷法であっても、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は妥当性の高い心肺持久性の評価指標であることを裏付けるものである。

2. 負荷テストにおける運動強度の範囲

著者らは、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ を求めるための負荷テストにおいて、Karvonen法による相対心拍レベルが概ね25~60%の運動強度の範囲のWRとHRの直線関係を利用している。この60%という上限については、概ねATレベル以下の運動強度に相当し、対象者の自覚的強度としても健常者であればきつと感じることはほとんどない強度と考えられ、特に異論はないと思われる。一方、25%という下限については、特に厳格な意味があるわけではなく、著者らが、2400名以上の負荷テストを分析するうちにたどり着いた概ねの目安である。もちろん、25%未満の強度を含めてもWRとHRの直線性を認める場合も少なくない、このような場合は、25%という下限に必ずしも拘る必要はなく、10~60%の範囲であっても25~60%の範囲であっても $\Delta\%HR/\Delta WR$ の値にはもちろん影響しない。ただ、あらゆる対象を視野に入れた場合、概ね25~60%の範囲であれば、低強度におけるWR-HRの不安定な応答を回避でき、ほぼ直線関係を見いだせると考えられる。一応25~60%の範囲と設定しておくことは、機械的に $\Delta\%HR/\Delta WR$ を求める場合には重要なことだと思われる。

3. 負荷テストにおける個人のWRとHRの直線性

$\Delta\%HR/\Delta WR$ は、自転車エルゴメータによる漸増あるいはランプ負荷運動におけるWRとHRの直線関係に基づいているため、評価する際は必ずWRとHRに直線関係があることを確認する必要がある。

先述したYoshiokaとShiraishi(1996)による健康な38名の学生を対象とした研究では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関は $r=-0.91$ ($p<0.001$; $SEE=8.6\%$)であったが、このとき $\Delta\%HR/\Delta WR$ を求めるための1分漸増負荷テストにおける個人のWRとHRの相関は $r=0.97$ 以上であった。この対象者のうち、個人のWRとHRの相関が $r=0.99$ 以上で非常に直線性が高かった28名について $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2 \max$ の相関を求めたところ、対象者数が10名少ないにもかかわらず、 $r=-0.96$ ($p<0.001$; $SEE=5.6\%$)と非常に高かった。このことから、負荷テストにおける個人のWRとHRの直線性が高いほど $\Delta\%HR/\Delta WR$ は心肺持久性の評価指標として妥当性が高いと考えられる。

2,400名以上の負荷テストを分析した著者らの経験では、個人のWRとHRの相関係数が概ね $r=0.96$ 以上の直線性がみられる場合、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ は信頼のおける値とみなし得ると考えられ、概ね5~10%の頻度でWRとHRの直線性がみられない例 ($r=0.96$ 未満) が出てくる。そのうちの多くは、時間をおいて再テストを行うと直線性がみられるようになる場合が多い。直線性がみられない原因の一つとして心身の疲労が考えられるが、自覚症状がない場合も少なくない。幾度か再テストを行っても直線性がみられない場合も希にあるが、その原因については未だに確証は得られていない。もちろん運動による不整脈がみられる場合は、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ を指標として心肺持久性を評価するのは困難である。また、直線性がみられる場合でも、性・年齢の基準から極端に逸脱し、明らかに本人の心肺持久性が反映した結果ではないと思われる場合も希にあるが、これもその原因については未だに確証は得られていない。いずれの場合も、換気系-循環系-代謝系の連関に影響を及ぼす何らかの疾患を疑ってみる必要があるのかもしれない。

4. 競技者や疾患をもつ人の場合

$\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は、健康づくりの目的で一般健常人が利用するための心肺持久性の評価指標として、あくまでも測定における簡便性、安全性、低コストということを念頭において考案したものである。したがって、競技者については最大運動による $\dot{V}O_2 \max$ の実測値あるいは600ヤード走 (Fleishman 1964) や12分間走 (Cooper 1968) などのパフォーマンステストの成績などを指標として心肺持久性を評価するのが妥当であると思われる。また、疾患をもつ人、特に、換気系-循環系-代謝系の連関に影響を及ぼす疾患 (呼吸循環器系疾患、代謝の異常、筋の異常及び高度の肥満など) をもつ人については、臨床応用としての運動負荷テストに基づき、運動負荷中の心電図解析、呼気ガス分析、必要に応じて動脈血の分析を行うことにより多面的に心肺持久性を評価する必要がある (Wasserman et al. 1987a)。例えば、心疾患や慢性呼吸疾患をもつ人は運動能力の低下をきたし、心肺持久性が低下していると考えられるが、 HR_{\max} と $\dot{V}O_2 \max$ について、心疾患をもつ人では、健常者に比べて、 $\dot{V}O_2 \max$ に対する HR_{\max} の値が相対的に高い傾向にあり、逆に慢性呼吸疾患をもつ人では、健常者に比べて、 $\dot{V}O_2 \max$ に対する HR_{\max} の値が相対的に低い傾向にある (Wasserman and Whipp 1975)。このような場合、WRに対するHRの応答だけを基に心肺持久性を評価することは全く不可能である。

V. おわりに

本稿は5つの章より構成し「Ⅰ. はじめに」では、研究の背景と意義、本稿の概要について述べた。「Ⅱ. 相対心拍数増加率($\Delta\%HR/\Delta WR$)の考案の経緯と求め方」では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ を考案した経緯及びそれらの求め方について図を活用して詳述した。「Ⅲ. 相対心拍数増加率($\Delta\%HR/\Delta WR$)の体重補正值」では、体重補正值の求め方とその妥当性について述べた。「Ⅳ. 相対心拍数増加率($\Delta\%HR/\Delta WR$)を指標として評価する際の留意事項」では、「1. 負荷方法」「2. 負荷テストにおける運動強度の範囲」「3. 負荷テストにおける個人のWRとHRの直線性」「4. 競技者や疾患をもつ人の場合」について、それぞれ留意すべき点を詳述した。

以上より、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ を指標とする心肺持久性の評価法は、測定が簡便に、安全に、安価に施行でき、データ処理の途中経過や推定法がより明確で、しかも心肺持久性の評価法としての妥当性に優れており、健康づくりを目的とする一般健常人の心肺持久性の評価法として有用性が非常に高い。さらに、この $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ による心肺持久性の評価が健康づくりの現場で普及することは、総合的な体力の一つである心肺持久性をより客観的に適切に評価することになり、ひいては一般健常人の健康づくりのためのより適切な助言・指導の一助になることが期待でき、実用的意義が大きい。

謝辞

本稿を終えるにあたり、本研究に際し、終始、貴重なご指導を賜りました、大阪市立大学名誉教授（相愛大学人間発達学部教授）、藤本繁夫先生に深甚なる謝意を表します。

文献

- American College of Sports Medicine: Guidelines for exercise testing and prescription, 4th ed., pp35-54, Lea and Febiger, Philadelphia, 1991a
- American College of Sports Medicine: Guidelines for exercise testing and prescription, 4th ed., pp93-119, Lea and Febiger, Philadelphia, 1991b
- Åstrand I: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta Physiol Scand*, 49, Suppl 169, 1-92, 1960
- Åstrand PO, Rhyming I: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work, *J Appl Physiol*, 7, 218-221, 1954
- Åstrand PO, Rodahl K: Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise, 3rd ed., pp354-390, McGraw-Hill, New York, 1986
- Cooper KH: A means of assessing maximal oxygen intake, *J Am Med Assoc*, 203, 201-204, 1968
- Davies CTM: Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements, *J Appl Physiol*, 24, 700-706, 1968
- Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N, Huntsman DJ, Frank MH, Wasserman K: Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test, *Med Sci Sports Exerc*, 14, 339-343, 1982
- Fleishman EA: The structure and measurement of physical fitness, pp171-172, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1964
- Fox EL: A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power, *J Appl Physiol*, 35, 914-916, 1973
- Hawley JA, Noakes TD: Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists, *Eur J Appl Physiol*, 65, 79-83, 1992
- Jessup GT: Validity of the W170 test for predicting maximal oxygen intake, *Eur J Appl Physiol*, 37, 191-196, 1977
- Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O: The effects of training on heart rate: A longitudinal study, *Ann Med Exper Biol Fenn*, 35, 307-315, 1957
- Legge BJ, Bannister EW: The Åstrand-Rhyming nomogram revisited, *J Appl Physiol*, 61, 1203-1209, 1986
- Lockwood PA, Yoder JE, Deuster PA: Comparison and cross-validation of cycle ergometry estimates of $\dot{V}O_2$ max, *Med Sci Sports Exerc*, 29, 1513-1520, 1997
- Patton JF, Vogel JA, Mello RP: Evaluation of a maximal predictive cycle ergometer test of aerobic power, *Eur J Appl Physiol*, 49, 131-140, 1982
- Rowell LB, Taylor HL, Wang Y: Limitations to the prediction of maximal oxygen intake, *J Appl Physiol*, 19, 919-927, 1964
- 白石龍生, 吉岡隆之: 相対心拍数／仕事率係数のヘルスプロモーションへの応用, 大阪教育大学紀要第・部門, 47,

171-177, 1998

Swain DP, Leutholtz BC: Heart rate reserve is equivalent to $\dot{V}O_2$ Reserve, not to $\dot{V}O_2$ max, Med Sci Sports Exerc, 29, 410-414, 1997

Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ: Principles of exercise testing and interpretation, Lea and Febiger, Philadelphia, 1987a

Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ: Principles of exercise testing and interpretation, pp27-46, Lea and Febiger, Philadelphia, 1987b

Wasserman K, Whipp BJ: Exercise physiology in health and disease (state of the art), Am Rev Respir Dis, 112, 219-249, 1975

Whipp BJ, Davis JA, Terres F, Wasserman K: A test to determine parameters of aerobic function during exercise, J Appl Physiol, 50, 217-221, 1981

Yoshioka T, Fujita H: Physiological effects on old people of physical activities in the contacts between old people and children, Recent Advances in Aging Science: Proceedings of the XVth Congress of the International Association of Gerontology, pp2077-2080, Monduzzi Editore, Bologna, 1993

吉岡隆之, 石田睦, 白石龍生, 藤田弘子: ウォーキングにおける中高齢者の運動強度とその評価: 相対心拍レベルをもとに, 大阪教育大学紀要第三部門, 43, 159-165, 1995

Yoshioka T, Shiraishi T: Slope of relative heart rate on work rate: New assessment of cardiorespiratory endurance, Health Promotion and Education: Bringing Health to Life, Proceedings of the XVth Conference of the International Union for Health Promotion and Education, pp255-258, Hoken-Dohjinsha, Inc, Tokyo, 1996

吉岡隆之, 白石龍生, 藤田弘子: 5分漸増負荷法に基づく相対心拍数/仕事率係数による心肺持久力の評価, 神戸市看護大学紀要, 1, 27-32, 1997

吉岡隆之, 藤本繁夫: $\Delta\%HR/\Delta WR$ の推定値と実測値の相関, 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 8, 15-17, 1998

Yoshioka T, Shiraishi T, Chikamori E, Kasamatsu T, Fujimoto S: Age-related decline in cardiorespiratory endurance assessed by slope of modified relative heart rate on work rate ($\Delta\%HR/\Delta WR$) in men and women, Jpn B Health Fit Nutr, 6, 21-27, 1999

Yoshioka T and Fujimoto S: Predictive validity of slope of modified relative heart rate on work rate ($\Delta\%HR/\Delta WR$) for cardiorespiratory endurance index in non-athletes, Jpn B Health Fit Nutr, 7, 3-10, 2000

吉岡隆之, 藤本繁夫, 後和美朝, 白石龍生: 継続的な身体トレーニングが心肺持久性指標としての相対心拍数増加率に及ぼす影響: 競技者と非競技者の比較, 神戸市看護大学紀要, 8, 1-8, 2004