

**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再現性**
**Reproducibility of “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 and Tatsuo Shiraishi

キーワード：(心肺持久性) (相対心拍数) (再現性)

(Cardiorespiratory Endurance) (Relative Heart Rate) (Reproducibility)

I. はじめに

ヘルスプロモーションを目的として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、安全、安価に行える点で、最大下運動時の負荷と心拍数（以下、HR）の応答から最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2 \max$ ）を推定する方法である。しかし、このような方法では複数の誤差が重なり妥当性という点で問題がある。そこで著者らは、従来のような $\dot{V}O_2 \max$ の推定ではなく、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を用いて、漸増負荷運動中の仕事率（以下、WR）に対する相対心拍数（以下、%HR）の増加率（相対心拍数増加率：以下、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ ）そのものを指標とする評価を提唱し、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 Shiraishi 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 Fujimoto 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）、実用的意義（吉岡 他 2015）及び健康関連因子との相互関係（吉岡 他 2016）について検討を行ってきた。

本研究では、実際にヘルスプロモーションの一環として行われている年2回の健康・体力測定において、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及びその体重補正值である $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ と他の一般的な体力を測定した結果に基づき、それらの体力指標の1回目とその5ヶ月後の2回目の測定値の相関を比較することにより、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の再現性について検討した。

II. 方法

1. 対象

大阪府下のA事業所における年2回（第1回6月及び第2回11月）の健康・体力測定のいずれにも参加した者のうち健康な労働者31名（男性12名、女性19名）を対象とした。なお、データの分析にあたり、31名の対象者のうち6名については、第1回に対する第2回の体重の誤差が5%以上であったことから、身体特性が第1回と第2回の

5ヶ月の間に変化した可能性があると考え、分析データから除外した。結果的に、19~56歳の25名（男性10名、女性15名）のデータを分析に採用した。採用した25名の対象者の年齢、身長、体重、Body Mass Index（BMI）及び体脂肪率の第1回測定時の平均値（SD）はTable 1に示した。体脂肪率は、生体電気抵抗（Impedance）

値と身長及び体重の計測値から推定する方法（Impedance法）によるもので、体内脂肪計（Tanita TBF-102、Japan）を用いて測定した。なお、25名の対象者のうち週に1~2回以上の運動習慣がある者は9名で、そのうち週に3回以上の運動習慣がある者は1名のみで内容は軽度の運動であった。運動習慣がある者は9名とも特に継続的な身体トレーニングは行っていなかった。

2. 体力測定

体力測定の内容は、筋力としては握力、筋持久力としては上体おこし、柔軟性としては長座位体前屈、敏捷性としては全身反応時間及び心肺持久性としては最大下の負荷テストによる $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ であった。なお、握力、上体おこし、長座位体前屈及び全身反応時間の測定は「THP健康測定における運動機能検査（中央労働災害防止協会、1990）」の方法に基づき行った。また、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は、次の負荷テストに基づき吉岡ら（吉岡 他 2015）と同様の方法で求めた。

負荷テスト： $\Delta\%HR/\Delta WR$ を測定するための負荷テストは、第1回及び第2回とも、健康・体力測定の一環として、他の体力測定に先だって、20分間の座位安静の後、電磁抵抗式の自転車エルゴメータ（Nihon Kohden STB-1400、Japan）を用いて行った。自転車の駆動は、1分間に50回転を保ち、無負荷で3分間のウォームアップを行った後、1分ごとに10W、15Wまたは20Wの漸増負荷で、対象者の相対心拍レベルが60%に達するまで続け、その後クールダウンを行った。また、漸増する負荷の割合の選択は、ウォームアップを除く漸増負荷運動の時間が6~12分になるように、主に性、年齢及び自己申告による心肺持久性の優劣に基づき行った。負荷テスト中のHRは多用途心電図解析装置（Nihon Kohden PEC-1320、Japan）を用いて連続測定し、負荷段階ごとに1分間の平均値として記録した。なお、安静時HR（以下、HRrest）は負荷テスト直前の座位安静10分間の平均HRとした。

3. 統計

回帰直線を求める際には最小二乗法、相関係数を求める際にはピアソンの積率相関係数を用いた。相関に関する有意性の検定については無相関の検定、対応のある2つの平均値の差については対応のあるt検定を行った。有意水準は $p<0.05$ を有意と考えた。

4. 倫理的配慮

各対象者は、本研究の目的と実験手順および実験途中に対象者の意志でいつでも実験を中止でき、また研究への協力を取り止めることができる旨について十分な説明を受け、十分な質問の機会を得た後、対象者になることを承諾した。

III. 結果

採用した25名の対象者の身長、体重、BMI及び体脂肪率の第1回及び第2回測定時の平均値（SD）はTable 2に示した。身長については第1回と第2回に有意な差（ $p<0.01$ ）が認められたが、その差は0.2cmであった。体重、

Table 1. Physical characteristics of subjects

		Age [years]	Height [cm]	Body mass [kg]	BMI [kg/m ²]	% Fat [%]
Men	[n=10]	28.3 (10.2)	168.1(6.0)	63.5(8.4)	22.4(2.3)	19.2(3.4)
Women	[n=15]	27.1 (7.2)	155.7(6.5)	49.1(7.3)	20.2(1.9)	22.0(4.9)
Total	[n=25]	27.6 (8.5)	160.6(8.7)	54.9(10.5)	21.1(2.3)	20.9(4.6)

Values are mean (SD) in first measurements.

BMI及び体脂肪率については、いずれも第1回と第2回に有意な差は認められなかった。また、Table 3には身長、体重、BMI及び体脂肪率について、第1回と第2回の測定値の相関を示した。身長及び体重については $r=0.99$ ($p<0.001$) 以上、BMIについては $r=0.98$ ($p<0.001$) の非常に高い相関が認められたが、体脂肪率については $r=0.40$ ($p<0.05$) の相関が認められたものの、非常に低い相関であった。

Table 2. Mean values of height, body mass, BMI and %fat in first and second measurements

	Height [cm]	Body mass [kg]	BMI [kg/m ²]	% Fat [%]
First Measurement	160.6(8.7)	54.9(10.5)	21.1(2.3)	20.9(4.6)
	**	NS	NS	NS
Second Measurement	160.4(8.8)	54.9(10.3)	21.1(2.3)	20.9(4.9)

Values are mean (SD). NS, Non-significant. Significantly different: ** $p<0.01$

Table 3. Correlation between first and second measurements in height, body mass, BMI and %fat

Height [cm]	Body mass [kg]	BMI [kg/m ²]	% Fat [%]
$r=0.999$	$r=0.994$	$r=0.982$	$r=0.399$
$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.05$
SEE=0.5 (0.3%)	SEE=1.1 (1.9%)	SEE=0.4 (2.0%)	SEE=4.5 (19.9%)

Table 4には握力、上体おこし、長座位体前屈、全身反応時間について、それぞれ第1回と第2回測定時の平均値 (SD) を示した。全身反応時間については第1回と第2回に有意な差 ($p<0.05$) が認められたが、その差は0.032msecであった。握力、上体おこし、長座位体前屈については、いずれも第1回と第2回に有意な差は認められなかった。また、Table 5には、握力、上体おこし、長座位体前屈、全身反応時間について、それぞれ第1回と第2回の測定値の相関を示した。相関係数が高かった項目は握力の $r=0.95$ ($p<0.001$; SEE = 3.1 kg [8.8%])、及び上体おこしの $r=0.94$ ($p<0.001$; SEE = 2.4 回 [17.6%]) であった。次いで長座位体前屈では $r=0.73$ ($p<0.001$; SEE = 5.2 cm)、全身反応時間では $r=0.54$ ($p<0.01$; SEE = 0.043msec [11.4%]) であった。なお、長座位体前屈については測定値がマイナスになり得ることからSEEの相対値 (%) は求めることができなかった。

Table 4. Mean values of grip strength, sit-up, sitting trunk flexion and jumping reaction time in first and second measurements

	Grip strength [kg]	Sit-up [times]	Trunk flexion [cm]	Reaction time [msec]
First Measurement	35.6(10.9)	17.5(6.7)	5.8(10.2)	0.393(0.082)
	NS	NS	NS	*
Second Measurement	35.1(10.4)	17.7(7.0)	5.7(7.5)	0.361(0.051)

Values are mean (SD). NS, Non-significant. Significantly different: * $p<0.05$

Table 5. Correlation between first and second measurements in grip strength, sit-up, sitting trunk flexion and jumping reaction time

Grip strength [kg]	Sit-up [times]	Trunk flexion [cm]	Reaction time [msec]
$r=0.95$	$r=0.94$	$r=0.73$	$r=0.54$
$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.01$
SEE=3.1 (8.8%)	SEE=2.4 (17.6%)	SEE=5.2	SEE=0.043 (11.4%)

Table 6にはHRrest、HRbase ($\Delta\%HR/\Delta WR$ 算出時の%HRの基準、吉岡 他 2015)、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ について、それぞれ第1回と第2回測定時の平均値 (SD) を示した。HRrest、HRbase、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ のいずれの項目についても、第1回と第2回に有意な差は認められなかった。Figure 1には $\Delta\%HR/\Delta WR$ 、Figure 2には $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ について、それぞれ第1回と第2回の測定値の関係を示した。 $\Delta\%HR/\Delta WR$ については、第1回と第2回の間には $r=0.98$ ($p<0.001$; SEE = 0.020%/W [3.7%]) の有意に高い相関が認められ、 $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ につい

Table 6. Mean values of HRrest, HRbase, $\Delta\%HR/\Delta WR$ and $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ in first and second measurements

	HRrest [beats/min]	HRbase [beats/min]	$\Delta\%HR/\Delta WR$ [%/W]	$\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ [%/(W/kg)]
First Measurement	69.2(9.1)	61.5(13.1)	0.518(0.118)	27.4(3.3)
	NS	NS	NS	NS
Second Measurement	71.6(11.6)	58.7(13.7)	0.521(0.112)	27.7(3.2)

Values are mean (SD). HRrest, Resting heart rate; HRbase, Base line of modified relative heart rate; $\Delta\%HR/\Delta WR$, Slope of modified relative heart rate on work rate during 1-min incremental exercise; $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$, $\Delta\%HR/\Delta WR$ related to body mass; NS, Non-significant

ては、第1回と第2回の間には $r=0.92$ ($p<0.001$; $SEE=1.2\%/(W/kg)$ [4.4%]) の有意に高い相関が認められた。また、HRbaseについては第1回と第2回の間には $r=0.40$ ($p<0.05$; $SEE=12.6$ beats/min [21.5%]) の相関が認められたもの、非常に低い相関であった。HRrestについては第1回と第2回の相関は $r=0.34$ ($p<0.10$; $SEE=10.9$ beats/min [15.3%]) で有意ではなかった。

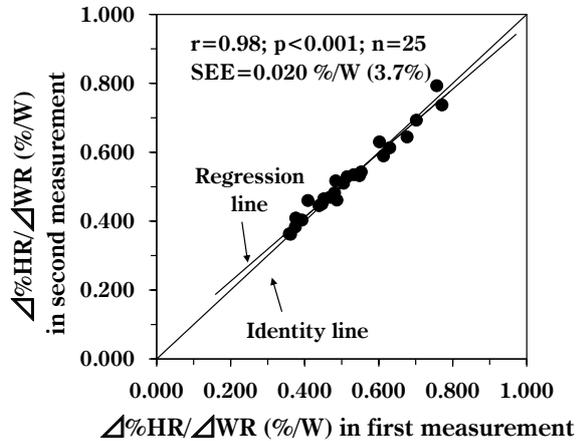


Fig.1. Relationship in slope of modified relative heart rate on work rate ($\Delta\%HR/\Delta WR$) between first and second measurement.

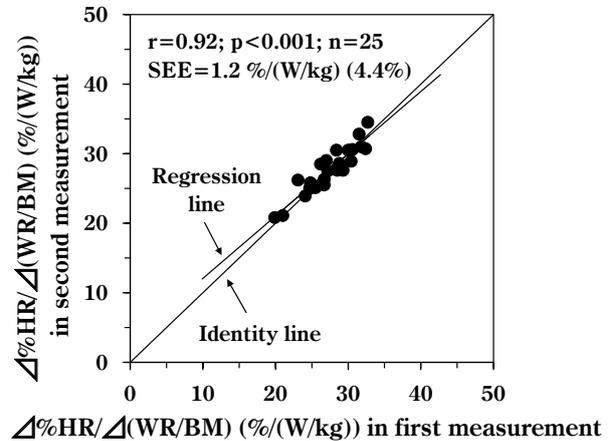


Fig.2. Relationship in slope of modified relative heart rate on work rate related to body mass ($\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$) between first and second measurement.

IV. 考察

本研究では、ヘルスプロモーションの一環として行われていた年2回の健康・体力測定において、実際に $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ を測定し、1回目とその5ヶ月後の2回目の結果から、その再現性について検討した。1回目と2回目の測定間隔が5ヶ月と長かったため、個々人の5ヶ月間の身体特性の変化及びトレーニングの影響を考慮する必要がある。

まず身体特性の変化について検討する。方法で述べたように31名の対象者のうち6名については、第1回に対する第2回の体重の誤差が5%以上であったことから、身体特性が5ヶ月の間に变化した可能性があると考え、分析データから除外し、残りの25名(男性10名、女性15名)のデータを分析に採用した。Table 2及びTable 3に示したように。身長、体重、BMI及び体脂肪率について、第1回と第2回の平均値はほぼ同じ値で、第1回と第2回の測定値の相関は、体脂肪率を除いて、非常に高かった。体脂肪率の相関が低かったのは、個々人の体脂肪率が実際に大きく変化したためではなく、今回の測定値がImpedance法による推定体脂肪率であり、その推定法の妥当性や再現性が反映したためと考えられる。以上のことから、今回、分析に採用した25名については、1回目と2回目の5ヶ月の間に身体特性に顕著な変化はなかったとみなし得る。

次にトレーニングの影響について検討する。握力、上体おこし、長座位体前屈、全身反応時間、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta (WR/BM)$ について、Table 4及びTable 6に示したように、全身反応時間を除いて、第1回と第2回の平均値に有意な差はなくほぼ同様の値であった。また、今回の対象者25名について、特に継続的な身体トレーニングを行っていたものではなく、週3回以上の運動習慣がある者は1名のみで内容は軽度の運動であったことから、5ヶ月間のトレーニングによる影響はほとんど考慮する必要がないと考えられる。全身反応時間については、第1回に比べて第2回の値が有意に($p<0.05$)低かったが、これは熟練による効果と考えられる。全身反応時間は光刺

激に反応して足が地面から離れるまでの反応時間を測定したものであるが、多くの対象者にとって第1回目が初体験であったことが多分に影響していると考えられる。

Figure 1 及び Figure 2 に示したように、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の第1回と第2回の測定値の相関は、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ では $r=0.98$ ($p<0.001$; $SEE=3.7\%$)、 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ では $r=0.92$ ($p<0.001$; $SEE=4.4\%$) と非常に高く、いずれにおいても regression line と identity line はほぼ一致している。先述したように、今回の対象者について、1回目と2回目の5ヶ月の間に身体特性の変化及びトレーニングによる影響はなかったとみなし得ることから、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の再現性は非常に良好であると考えられる。

次に、第1回と第2回の測定値の相関について、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ と他の体力指標を比較し、検討する。握力、上体おこし、長座位体前屈及び全身反応時間について、Table 5 に示したように、第1回と第2回の測定値の相関が高かった項目は、握力の $r=0.95$ ($p<0.001$; $SEE=8.8\%$) 及び上体おこしの $r=0.94$ ($p<0.001$; $SEE=17.6\%$) であり、長座位体前屈では $r=0.73$ ($p<0.001$)、全身反応時間では $r=0.54$ ($p<0.01$; $SEE=11.4\%$) と高い相関はみられなかった。一方、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ については、先述したように、第1回と第2回の測定値の相関は、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ では $r=0.98$ ($p<0.001$; $SEE=3.7\%$)、 $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ では $r=0.92$ ($p<0.001$; $SEE=4.4\%$) と非常に高い相関が認められた。これらの結果を比較してみると、第1回と第2回の測定値の相関係数では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ ($r=0.98$) 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ ($r=0.92$) は、握力 ($r=0.95$) や上体おこし ($r=0.94$) とほぼ同等であり、推定の標準誤差 (regression line に対する残差のSD) である SEE では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ ($SEE=3.7\%$) 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ ($SEE=4.4\%$) は、握力 ($SEE=8.8\%$) や上体おこし ($SEE=17.6\%$) に比べてかなり小さかった。 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ における SEE が、上体おこし、さらには握力に比べて小さい理由としては、握力が握る力の最大値を1ポイントで評価した指標であるのに比して、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は一定時間における反応動態を評価した指標であることが影響しているためと考えられる。また、上体おこしについては、30秒間に上体が何回起こせるかを測定したもので、一般健常人の場合、少なからず意欲が影響しているためと考えられる。以上のことから、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は、握力や上体おこし以上に再現性に優れた体力指標であると考えられる。

最後に、今回、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は非常に再現性に優れた体力指標であると考えられたが、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の算出における Modified%HR の base line (0%) である HRbase については、第1回と第2回の相関は $r=0.40$ と非常に低く、SEE については21.5%と非常に大きかった。このことは HRrest についてもほぼ同様であった。これらの結果は、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ を測定する際、HRbase についても HRrest についても、過去のデータを用いるのではなく、その都度求める必要があることを示唆していると考えられる。

V. 要約

大阪府下のA事業所における年2回(第1回6月及び第2回11月)の健康・体力測定のいずれにも参加した19~56歳(平均27.6歳)の健康な成人25名(男性10名、女性15名)を対象に、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の再現性について、第1回と第2回の測定値の相関から検討した。また、同時に測定した他の一般的な体力項目についても同様に1回目と2回目の測定値の相関を求め、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の相関と比較し、検討した。なお、今回の対象者25名については、5ヶ月間の身体特性の変化及びトレーニング効果はほとんどみられなかった。結果として、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ の第1回と第2回の相関係数は、 $r=0.98$ ($p<$

0.001; SEE = 3.7%) 及び $r = 0.92$ ($p < 0.001$; SEE = 4.4%) で、いずれも非常に高い相関を示した。また、一般的な体力項目において相関が高かったのは、握力の $r = 0.95$ ($p < 0.001$; SEE = 8.8%) 及び上体おこしの $r = 0.94$ ($p < 0.001$; SEE = 17.6%) であった。相関係数では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ ($r = 0.98$) 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ ($r = 0.92$) は、握力 ($r = 0.95$) や上体おこし ($r = 0.94$) とほぼ同等であり、SEE では、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ (SEE = 3.7%) 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ (SEE = 4.4%) は、握力 (SEE = 8.8%) や上体おこし (SEE = 17.6%) に比べてかなり小さかった。以上の結果から $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\Delta\%HR/\Delta(WR/BM)$ は、握力や上体おこし以上に再現性に優れた体力指標であると考えられた。

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）の藤本繁夫先生に深甚なる謝意を表します。また、データの収集等でご協力いただいた医療法人アエバ会アエバ外科病院院長の草野孝文先生をはじめスタッフの皆様には厚くお礼申し上げます。最後に、本研究の対象者になっていただいた方々にここからお礼申し上げます。

文献

- 中央労働災害防止協会編：ヘルスケア・トレーナー養成研修テキスト(Ⅱ)「心とからだの健康づくり (THP)」, pp157-221, 1990
- 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Ⅲ部門, 47, 171-177, 1998
- Yoshioka T and 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
- 吉岡隆之, 近森栄子, 白石龍生：心肺持久性評価指標としての相対心拍数増加率と健康関連因子の相互関係, 奈良学園大学紀要, 3, 143-151, 2015
- 吉岡隆之, 近森栄子, 白石龍生：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, 大阪教育大学紀要第Ⅲ部門, 64(2), 7-13, 2016