

積算小数心拍水準による運動活動量の評価

北浦 孝, 沼 哲夫

Decimalized integration of %HRmax for estimation of activity levels.

Takashi Kitaura and Tetsu Numa

ABSTRACT

Some new estimation methods of physical activities were designed for some precise exercise prescriptions and were tested. The heart rate was recorded in a bicycle ergometry as a laboratory test and in a skiing as a field test.

The heart rate was calculated with two methods primarily. On one method, the score of heart rate during exercise was integrated and decimalized after the calculation of %HRmax to every minute heart rate. It was named the DI%HRmax with thresholds of 30%, 55% and 70%HRmax. On another way, the heart rate was calculated as rating scale of heart exercise points (HEP) on a basis of resting heart rates plus 15 beats per minute.

The HEP showed similar points with DI%HRmax(30) and DI%HRmax(0) of low thresholds. These points suggested reasonable and conventional volume of physical activities. But high intensity of exercise was demanded for the development of respiro-cardio function in the high thresholds.

These scores are going to be available for exercise prescription for diabetes and obesity, if the threshold are used properly.

Key Words : Heart rate, Heart exercise point, Decimalized integration of %HRmax, Ski, Exercise prescription

【はじめに】

運動プログラムの実施は体力の改善のみならず糖尿病の治療方法として重要視されている³⁾。この運動処方としてのトレーニングの場面で心拍水準(%HRmax)は酸素摂取量との関係と簡便性という理由から運動の強度を示す指標^{14,17)}として広く利用されている。しかし、運動量の指標として利用されたことはほとんど無く、一般的に運動量は時間的長さで指示されるに留まっている。このことは身体運動を処方として活用する場合に量的コントロールが不十分になり、運動処方の科学性と言う意味で説得力が低くなり、その実用化

で多くの困難さをもたらしていると考えられる。

これまで処方として運動の量を評価する方法としては歩数計やカロリーカウンターが利用されているが^{9,11,12)}, 自転車のりや筋力トレーニングなどの運動形態の特殊性などに対し科学性が十分に保障されていない。その様な欠点を補う方法として最近では心拍数メモリー装置が長時間の運動量や身体活動水準を測定するためによく利用される^{2,17)}。しかし、ここで得られる心拍数そのものは運動量の指標として利用される事は無く、それを利用した方法の開発が望まれている。今回この心拍数を量の指標として利用する方法を考案したので、糖尿病や肥満のための運動処方を科学的に評価する事の可能性を検討する事を目的として研究を行い、若干の知見が得られたので報告する。

【測定方法】

運動時の心拍数は先行研究^{4,5,6,7,8,9)}と同じく心拍数メモリー装置によって1分毎に記録し、測定終了後データ処理をパーソナルコンピュータにより行う。心拍水準は実測した最大心拍数を用いるのが原則であるが、通常よく使用されるのは年齢推定最大心拍数 (E-HRmax ; Estimated HRmax)¹⁵⁾であり、本研究もそれをもとに心拍水準を1分毎に算出し、運動時のものを積算し、小数点化した。以後これを積算小数心拍水準 (DI%HRmax ; Decimalized integration of %HRmax) と命名する。なお、今回はE-HRmaxは次の式

$$[E-HRmax = 220 - \text{年齢}]$$

で求めた。さらにこの中には有酸素機能の改善を目的とするという理由から心拍水準に30%・55%・70%の3つ閾値を設定し、それぞれの閾値を越える心拍数のみ対象としたプログラムを作成し、前から順にDI%HRmax(30)・DI%HRmax(55)・DI%HRmax(70)とした。これらの数値はアメリカスポーツ医学会 (ACSM)¹¹⁾が有酸素機能の改善には酸素摂取水準で40~85%の強度が必要で、それらは心拍水準では55~90%に相当するという意見と低強度の運動でも時間の長さによっては効果が得られると言う意見¹²⁾を参考にして設定した。同じようにして、著者らの考案した心臓活動指数 (HAI)^{4,5,7,8)}を参考に今回新たに安静時心拍数より15拍以上の心拍数を10拍ごとに0.1得点として加算する方法を加え、これを心拍運動得点 (Heart exercise point, HEP) と命名し検討した¹⁰⁾。運動としては基礎実験として自転車エルゴメトリを行い、フィールドテストとしてスキー活動を取り上げた。

自転車こぎの被験者は金沢大学アメリカンフットボール部に所属する19歳~22歳の男子10名である。自転車エルゴメトリは最大下有酸素能テストとして通常用いられるPWC 170と同様の方法である¹⁷⁾。心電図信号を胸部誘導法によりテレメーター形式で受信し、モニター画面 (フクダ電子) による監視下で固定式自転車 (モナーク社) のサドルに

座った状態で10分間安静状態を維持した後、50回転/分で4分ごとに2.0kP・2.75kP・3.5kPの負荷で実施した。毎分の心拍数を記録紙上に記録し終了後カウントした。PWC 170は各負荷の最後の1分間に得られた心拍数を利用して算出した。すべての被験者が12分間の運動(600kpm・4min+825kpm・4min+1050kpm・4min=9900kpm)を完了することができた。

フィールドテストとしては長野県志賀高原でのスキー中の心拍数の測定である。被験者は45歳の男子(身長175cm, 体重70kg)である。心拍数はテレメーター形式の心拍メモリー装置(POLAR社, バンテージ XL)を用いた。運動終了後パソコンにてデータの収集を行い、計算処理を行った。計算に用いた安静時心拍数は前もって測定しておいた安静座位10分後の心拍数を用いた。

【結果と考察】

図1に今回用いた自転車エルゴメトリにおける心拍数の変化の例を示した。この被験者の場合の心拍水準の30%・55%・70%を図中に示した。それらを閾値としDI%HRmax(30)・DI%HRmax(55)・DI%HRmax(70)はその数値以下の値は加算されない。従ってこの場合DI%HRmax(30)・DI%HRmax(55)・DI%HRmax(70)はそれぞれ5.96・3.27・0となった。HEPは基準心拍数が安静時+15で得点化の対象は90bpm以上を対象とするため運動中のほぼ全ての心拍数が対象となり6.7となった。

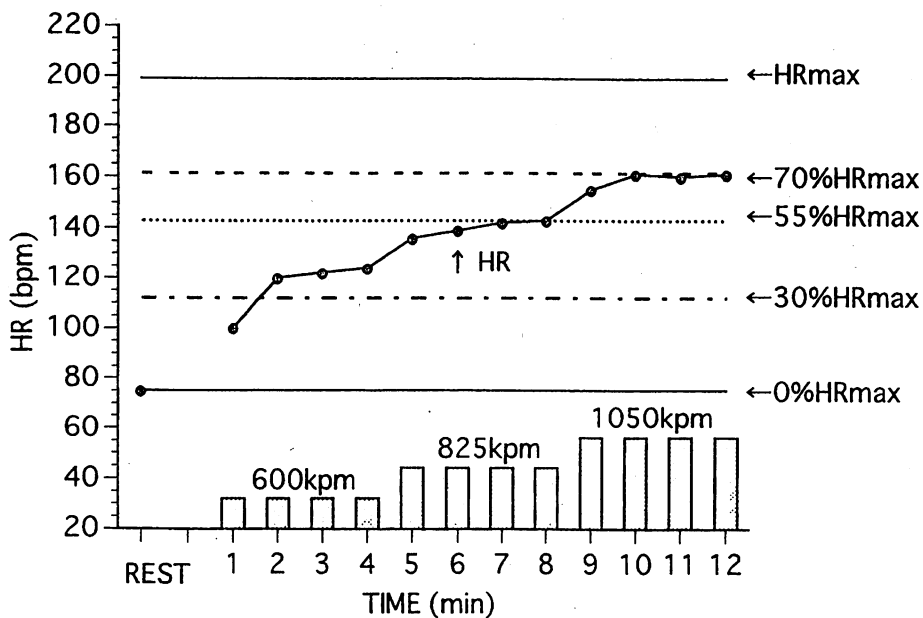


図1 自転車エルゴメトリにおける心拍数の変化

表1に被験者の身体的特徴を示した。被験者J. M. が運動選手としては他に比べ身長と体重で少ない値を示したが、それ以外には特に顕著な特徴は見られなかった。

表1 被験者の身体的特徴

NAME	AGE(years)	HEIGHT(cm)	B.W.(kg)	REST HR (bpm)
K.M.	21	177	72	75
H.N.	22	178	70	85
M.H.	21	176	74	71
K.A.	20	172	73	75
H.K.	21	179	75	73
T.K.	22	170	73	75
N.Y.	20	177	77	85
H.S.	21	179	77	85
T.F.	20	176	69	63
J.M.	19	166	57	77
MEANS	20.7	175	71.7	76.4
SD	0.9	4.07	5.49	6.69

表2に自転車エルゴメトリの結果を示した。心拍水準の閾値を30%・55%・70%で考えると12分間の自転車こぎで6.28・4.15・1.83となり、HEPでは6.9となった。有酸素作業能の一つであるPWC 170との関係を見てみるとそれぞれの得点との間に負の相関関係が示唆され、なされた仕事量が同じでも呼吸循環機能の高い人では心臓に対する負担度が同じ負荷でも小さくなる事が示唆された。しかし、運動トレーニングによる副交感神経支配の優位化は必然的に同一運動に対する相対的負荷が軽減するため当然の結果とも思われる。HEPの数値は他の数値と比較するとかなり高値になるところから考えると心拍水準との関係ではかなり低い水準の値に相当すると推察される。しかし、今回のような漸増負荷の場合はまだしも、比較的低水準の活動が長時間加わるような運動では時間の長さが長くなるにつれて数値に影響を及ぼしてくるので積算小数心拍水準では注意が必要とな

表2 自転車エルゴメトリによる結果

NAME	PWC170(kpm)	DI%HRmax(0)	DI%HRmax(30)	DI%HRmax(55)	DI%HRmax(70)	HEP
K.M.	1,157	6.16	5.96	3.27	0.00	6.70
H.N.	986	7.29	7.07	5.65	3.10	6.70
M.H.	1,257	4.95	4.22	1.80	0.00	5.10
K.A.	1,098	6.26	5.98	2.76	2.12	6.80
H.K.	1,156	5.59	4.53	2.59	0.00	5.90
T.K.	990	7.19	7.19	4.96	3.14	7.90
N.Y.	876	7.99	7.99	5.99	4.73	8.10
H.S.	1,070	6.40	6.13	3.91	1.45	6.20
T.F.	1,220	6.17	5.90	3.69	0.00	7.40
J.M.	935	7.78	7.78	6.87	3.80	8.40
MEANS	1,074.50	6.58	6.28	4.15	1.83	6.92
SD	119.30	0.91	1.19	1.56	1.71	0.98

と思われる。

表3に自転車エルゴメトリの運動負荷時における運動量と各得点の関係を示した。600 kpmの負荷での運動では20歳台のE-HRmaxが約200 bpmであることを考えると心拍水準で30% (約113 bpm) を越えない者がいることが判明した。また積算小数心拍水準でみると55% (144 bpm) 以上の閾値を使用すると約9割の者がこの負荷は得点の対象とならない事が判明した。HEPと0%水準だけが得点化ができた。各方法の得点を比較してみると数値的には0%と30%水準はHEPと近い値を示したのに対し、55%と70%はかなり低値を示した。HEPは0%水準の値と比較しても最終的には同じ様な数値であるが詳しくみると、低い強度では低値になり、負荷が増加すると値が大きくなるという特徴がうかがわれた。

表3 運動負荷時の得点変化

WORK(kpm)	DI%HRmax(0)	DI%HRmax(30)	DI%HRmax(55)	DI%HRmax(70)	HEP
2400	1.51 ±0.32 (1.03-2.02)	1.21 ±0.62 (0.00-2.02)	0.11 ±0.33 (0.00-1.11)	0.00 ±0.00 (0.00-0.00)	1.48 ±0.36 (0.9-2.1)
3300	2.23 ±0.31 (1.62-2.67)	2.23 ±0.31 (1.62-2.67)	1.25 ±1.05 (0.00-2.67)	0.21 ±0.45 (0.00-1.41)	2.36 ±0.32 (1.7-2.9)
4200	2.84 ±0.29 (2.30-3.32)	2.84 ±0.29 (2.30-3.32)	2.79 ±0.40 (1.80-3.32)	1.62 ±1.42 (0.00-3.32)	3.08 ±0.31 (2.5-3.5)
TOTAL	6.58 ±0.91	6.28 ±1.19	4.15 ±1.56	1.83 ±1.71	6.92 ±0.98

Values are means ± S.D. with ranges.

図2にスキー実施中の心拍数の変化を示した。滑走中に心拍数が上昇し、休憩及びリフト乗車中は低下しているのが図から明瞭に判断できる。

スキーは長時間に及ぶため午前中 (1st lesson) 4時間と午後 (2nd lesson) 4時間に分けて検討した。午前中のDI%HRmax (30)・DI%HRmax (55)・DI%HRmax (70)・HEPはそれぞれ198.9・176.0・94.1・191.5であり午後は205.4・196.0・116.1・198.4であった。心拍水準の平均で考えると午前中は66%心拍水準の持続であり、午後は71%の水準になり、午前午後ともかなりの強度の運動である事が推測された。特に午後が少し多めであった。これらが疲労の影響であるかどうかは、もう少し検討が必要である。しかし、いずれの得点方法でも単なる時間の長さではなく点数として評価できるという意味で重要と思われる。午後の計測中 E-HRmaxを越える値が数回検出された。これは再検討が必要である。

DI%HRmaxの問題点は運動中における休憩時の長さが長くなる場合に、それが短時間の激運動と等価で評価されるおそれが有りこれを除外しなければならない。その意味では、閾値を利用するという事は有効な方法で有ると思われる。ただし、この場合生じる問題点は今回使用した最大心拍数が推定値であり、この適用が現時点では低年齢の子供には使用

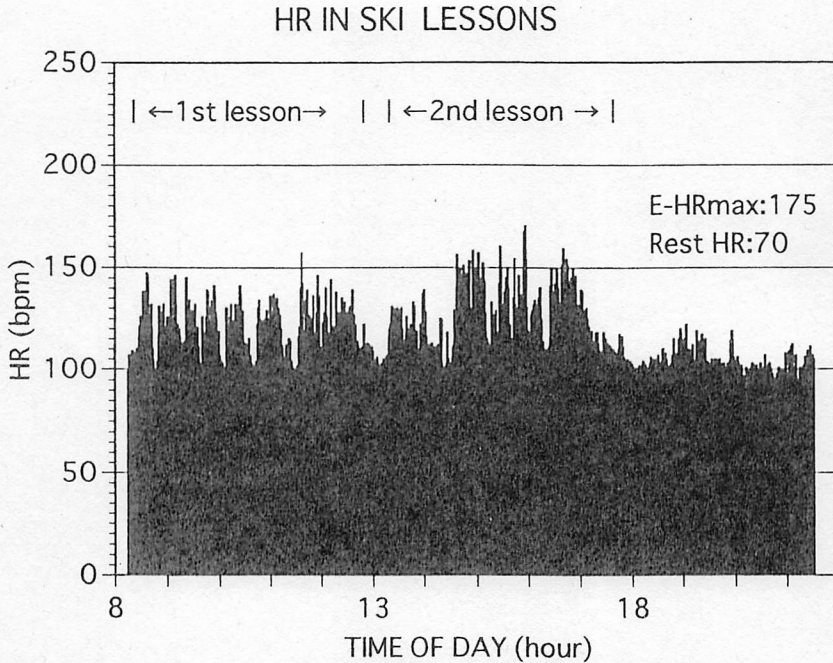


図2 スキー活動における心拍数の変化

できず利用は成人に限られていると言う事である。今後はこの点に関する検討が必要と思われる。しかし、子供でも実測すれば使用可能で有る。

高齢者の場合、最大心拍数が低値になるところから相対的に心拍数の変化が積算される数値に大きな影響を持つ事が予測され正確な心拍数の測定が必要になると思われる。また高齢者の場合個人差が大きく¹⁰⁾、推定最大心拍数を越える被験者が多出するためこの有効利用には疑問が残され、現時点ではHEPの方が上限がなくHAIと同じく無難であると思われる。

今回用いた心拍水準はアメリカスポーツ医学会の推奨する酸素摂取水準1)を基準としたが、これは最近 Swain et al.¹⁴⁾が $40\% \dot{V}O_2\max$ が 55% ではなく $63\%HR_{\max}$ であり、従来報告されていた心拍水準より強度が高いという報告をしており議論となりそうである。しかし、我々はあくまでエネルギー消費との関係よりむしろ心臓の活動性という意味で運動強度を検討しているので、心拍数そのものに注目したいと思う。

また今回用いた年齢推定最大心拍数は個人によっては運動強度が $100\%HR_{\max}$ を越えることがあり、これはやはり理論的に好ましくないと言う点で今後の検討課題としたい¹⁵⁾。他方、心拍運動得点(HEP)はHAIと同様上限値が無いためこの様なトラブルは生じない点は優れていると思われる。

今回検討したスキー運動は他のサッカーや野球などのような陸上で行われるスポーツと

違って運動量の評価が困難であり、歩数計や時間調査法などの利用ができないため、運動量の評価の妥当性の裏付けが現時点では困難であるが、逆にこの方法で有れば測定可能であり今後の応用が期待できる。今後は他のスポーツで検討し、運動量の裏付けをする必要がある。

体育実技の中では運動の質が重視される必要がある。つまり、健康維持の運動と体力増強の運動は本質的に異なるもので同一に評価してはいけないと思われる。

体力改善という意味では積極的な有酸素機能改善という事ではエネルギー消費量だけでなく、ACSMの提言するように55～90%HRmaxという高い閾値での運動量を必要とするという考え方が必要と思われる¹⁾。しかし、糖尿病の治療の様な場合にはエネルギー消費が重視され、軽度でも長時間にわたる活動を必要としている。そのため一方では心拍数と酸素消費量との関係からエネルギー消費量を算出しようと言う試みが数多くなされているが^{16,18)}、この場合注意しなければならない点は運動の強度もあわせて評価する必要があると言う事である。

例えば、従来使用されていた70%HRmaxの運動を20分間実施すると言う場合は途中の変化はあるものの計算上は積算小数心拍水準では $0.7 * 20 = 14$ 点というように評価できる。

エネルギー消費だけを問題にした場合の欠点は運動の質が心臓に与える影響が無視されてしまうという事である。つまり大量の血液を必要とするような運動と時間のみでエネルギー量と等価である事は心臓に与える影響が同じである事を意味しない。つまり有酸素機能の改善には心臓そのものに対する負荷強度というものを無視してはいけないと思われる。

今回作成した得点化の方法は、従来単に測定されていた運動時の心拍数の変化を量的に解釈できる点で今後の利用が期待される。

【結論】

運動時の心拍数を得点化する事により運動処方の方法として、身体活動を量的に評価できる可能性が示された。また糖尿病治療などのように軽い負荷で長時間の運動が望ましい場合には30%以下の低い心拍水準を利用し、有酸素的機能を改善し積極的に体力改善をはかる場合には55%水準以上の数値を利用するというように運動の目的に応じて積算小数心拍水準が利用できることが示唆された。心拍運動得点(HEP)もこれらと同様に利用できる事が示されたが、どちらが有効であるかは今後の検討課題である。

謝辞

本研究のデータ解析のために金沢大学情報処理センターのLANシステムを利用させていただきました。これらの運営にあたり終始ご尽力いただいた関係諸機関の皆様に対し、ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) American College of Sports Medicine : Guidelines for exercise testing and prescription, 4th Ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1991, pp.6, 95-100.
- 2) Gretebeck, Randall J., and Montoye, Henry J.: Variability of some objective measures of physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24(10):1167-1172(1992).
- 3) Helmrich, S.P., Ragland, D.R., Leung, R.W., and Paffenbarger, R.S.: Physical activity and reduced occurrence of non-insulin dependent diabetes mellitus. *N. Engl. J. Med.*, 325: 147-152(1991).
- 4) 北浦孝, 沼哲夫: 心拍数メモリによる心臓活動指数の試作. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.*, 25: 31-35(1988).
- 5) 北浦孝, 沼哲夫: 心臓活動指数による大学生の一日の身体活動量の研究. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.*, 26:33-38(1989).
- 6) 北浦孝, 沼哲夫: 心臓活動指数による子供の発育に伴う身体活動に対する欲求の変化に関する研究. *デサントスポーツ科学*, 12:191-200(1991).
- 7) 北浦孝, 沼哲夫: 一日総心拍数の得点化(心臓活動指数)による運動量の評価. *デサントスポーツ科学* 11:254-261(1990).
- 8) 北浦 孝, 沼 哲夫: 一日の身体活動水準の評価のための心臓活動指数とエネルギー消費量の比較研究. *北陸体育学会紀要* 28:69-77(1992).
- 9) 北浦 孝, 沼 哲夫, 井浦吉彦, 川井一慶, 若泉文恵: 女子高齢者における身体活動量と毎分心拍数の標準偏差との関係. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.* 30:89-95(1993).
- 10) 北浦 孝, 沼 哲夫: 睡眠時平均心拍数からみた体力と活動性の個人差発現の原因に関する研究. *小野スポーツ科学* 1:25-38(1993).
- 11) 北浦 孝, 盛 大衛, 吉野 安之, 沼 哲夫, 藤原 勝夫, 井籠 敏, 外山 寛, 高松 昌宏: カロリーカウンターによる大学生の日常活動量と体育実技についての研究. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.* 29: 35-47(1992).
- 12) 大塚貴子, 波多野義郎: 高齢者のウォーキング. *臨床スポーツ医学*, 9, 137-141(1992).
- 13) 定本明子: 日常生活の運動強度をどうとらえるか. *体育の科学*, 37 (10), 755-759(1987).
- 14) Swain, David P., Abernathy, Kimberly S., Smith, Carla S., Lee, Shirley J. and Bunn, Shelly A.: Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol.26(1):112-116(1994).
- 15) Whaley, Mitchell H., Kaminsky, Leonard A., Dwyer, Gregory B., Getchell, Leroy H., & Norton, James A.: Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24(10):1173-1179(1992).
- 16) 山本高司, 加藤好信, 坪内伸司, 藤松博: 24時間心拍数から1日の消費エネルギーを推定する方法の開発. *体力科学*, 30, 351-352(1981).
- 17) 山地啓司: 運動処方のための心拍数の科学. 大修館, (1981).
- 18) 芳田哲也, 中井誠一, 森田恭光, 伊藤孝: 心拍数からみた1日の消費熱量. *体力科学*, 33(6), 280(1984).