分娩前および分娩後における乳牛の心拍数と 熱発生量の関係について

福原弘紀・沢井利昭・山本禎紀

広島大学生物生産学部，福山市 720

(1982. 11. 29 受付)

要 約 1) ホルスタイン経産牛 6 頭について分娩前，後の心拍数 (HR) と熱発生量 (HP) の同時測定を行ない，HR から HP を推定する方法について検討した。2) 分娩前に比べ，HR は分娩後に減少し，HP は逆に，著しく増加するという特徴ある変化を示した。3) 各個体の HR から HP を推定する直線回帰における推定誤差 (PE, $Sy \cdot x/\bar{y}$, %) は，平均 $\pm 4.8\%$ で， $\pm 7\%$ を越える個体はなかった。回帰係数は，分娩前，後で異なり，分娩前に比べ分娩後に大きな値を示した。4) HR, HP および回帰係数における個体差は，分娩前，後の両期で認められた。5) キャリブレーションを行わずに，分娩前および分娩後の乳牛群に適用できる推定式を次のように定めた。

分娩前: $Y = 0.962 + 5.335 X$, $Y = HP$ (kcal/ $W^{0.75} \cdot h$), $X = RHR$ ($RHR = HR/85.8$)

分娩後: $Y = 0.535 + 7.502 X$, $Y = HP$ (kcal/ $W^{0.75} \cdot h$), $X = RHR$ ($RHR = HR/70.9$)

85.8 および 70.9 は，それぞれ，分娩前，後における平均基準 HR (分娩前，後における平均 HP に対応する各個体ごとの HR を，HP と HR との回帰式から求めた値の平均値) である。6) 本式は，乳牛 4~6 頭の平均 HR を用いることにより，群としての HP を求める上で活用できることを指摘した。

日畜会報，54 (9): 497-501, 1983

家畜の飼養管理状態を生理的に解析するためには，経時的に熱発生量 (以下 HP と略す) を把握することが必要であると考えられる。しかしながら放飼，放牧中の家畜はもとより拘束した家畜においても，経時的に HP を測定することは，極めて困難である。

心拍数 (HR) の連続測定値から HP を推定する方法は，間接的方法ではあるが，放飼や群飼されている個体にも適用できる利点を持ち，これまでに乳牛¹⁾のみならず育成牛^{2,3,4)}，肥育牛⁵⁾，メソ羊^{6,7)}などについて国内外で広く検討されている。

しかしながら HR から HP を推定する方法を確立するためには，循環生理に関する基礎的研究はもとより，家畜の生理状態や行動との関係，あるいは推定式に認められる個体内および個体間差などについて検討を重ねなければならない。山本らは^{2,5)}，雄子牛と肥育牛の個体差と群間差の解消法として，HR については相対心拍率 (RHR) を，HP については代謝体重 (M. B. S) 表示による可能性を提示している。その後 YAMAMOTO ら⁴⁾は，去勢牛の長期にわたる HR と HP の連続測定から，直線回帰式に個体差と日々間の個体差を認め，基本的には，

利用時に個体ごとのキャリブレーションが必要であることを指摘した。

本報では，乳牛において HR と HP の両者が著しく変化すると考えられる分娩前，後の期間を選び，HR と HP の関係を調べ，両期間における HR の連続測定に基づく HP の推定方法について検討した。

試 験 方 法

供試牛は，ホルスタイン経産牛 6 頭 (年齢 3~6 歳) を用いた。試験は，10~12 月にかけて行ない，分娩前 24~2 日，分娩後 20~39 日の乳牛について，それぞれ延べ 11 回と 9 回のキャリブレーションを実施した。

HR と HP の測定手順とその方法 (キャリブレーション)。1 回のキャリブレーションは，各牛 16 回の測定からなり，1 日 (09:30~17:00) で行なった。16 回の測定は約 10 分間隔で行ない，初めの 2 回は約 17 時間の断乳後に当り，その後各回とも配合飼料 1 kg と粗飼料を自由採食させたのち行なった。1 回のキャリブレーションにおける飼料摂取量は，配合飼料 9~14 kg，粗飼料としてサイレージ 12~22 kg あるいはヘイレージ 1.5~6.5 kg，

それに乾草とヘイキューブで 1.5~6 kg であった。

HP の測定は、アクリル板で製作したヘッドケージを用い、換気量は、ローターメーター（上島製作所、12-1110 A）を用いて、1 分毎に計量した。ガス分析は、磁気式 O₂ 分析計（富士電気、オキシマート II）を用い、分析値は、アナログレコーダーで監視しながらマルチチャンネルデジタルレコーダー（タケダ理研、TR 2711 M）に記録した。1 回の測定は、5 分以上とし、平均値は、ガス分析記録が安定した 5 分間の 20 秒毎の測定値から求めた。HP の算出は、O₂ 消費量のみから求める McLEAN⁸⁾の式を用い、値は kcal/W^{0.75}・h で表示した。

HR は、ECG を多用途監視記録装置（日本光電）で測定し、平均 HR は、ガス分析値とのタイムラグ 1 分を見

込み、1 分毎 5 分間の値から算出した。

結 果

1. 分娩前および分娩後における HR と HP

分娩前、後の各キャリブレーションにおける HR と HP の平均値を表 1 に示した。HR と HP の個体差は分娩前、後ともに認められ、特に HR の変動係数 (C.V.) は、いずれも 10% を越えるものであった。しかし、HR は、分娩前に比べ、分娩後に明らかに減少し、HP は逆に著しく増加する傾向を示した。

2. 分娩前および分娩後における HR と HP の関係

分娩前、後の HR と HP の直線回帰係数、推定誤差 (PE, Sy·x/ȳ, %), 相関係数等を表 1 に、HR と HP の

Table 1. Values of the regression constants in the equation relating heat production to heart rate for six prepartum and postpartum Holstein cows

No. of cow	Days	Body weight (kg)	Heart rate (beats/min)	Heat production (kcal/W ^{0.75} ・h)	Regression coefficient (b)† and Sb	Prediction error (PE) (Sy·x/ȳ, %)	Intercept at HR 60 (a)†	Correlation coefficient (r)
Prepartum								
21-1	24	661	68.6	6.54	0.077±0.009	5.1	5.88	0.917**
-2	15	675	78.9	6.97	0.090±0.011	5.5	5.25	0.914**
-3	7	685	79.9	6.69	0.045±0.007	3.7	5.77	0.869**
25	4	649	85.0	6.05	0.066±0.012	5.3	4.44	0.799**
26-1	18	695	113.2	6.13	0.044±0.005	6.4	3.75	0.918**
-2	9	700	96.1	5.68	0.061±0.007	5.7	3.49	0.917**
-3	2	700	93.7	5.55	0.053±0.007	6.8	3.81	0.906**
31	15	690	75.3	6.00	0.086±0.007	4.7	4.71	0.954**
33	6	625	73.4	6.42	0.059±0.008	5.3	5.64	0.895**
36-1	20	640	83.1	6.92	0.021±0.011	4.3	6.45	0.455 NS
-2	15	650	77.2	6.60	0.062±0.010	6.5	5.51	0.862**
Mean ±SD		670.0 ±26.3	84.0 ±12.7	6.32 ±0.48	0.060±0.020	5.4 ±0.9	4.97 ±0.99	0.855 ±0.139
Postpartum								
21	22	550	73.6	8.79	0.117±0.012	3.9	7.20	0.938**
25-1	23	505	82.0	8.58	0.115±0.026	6.1	6.02	0.771**
-2	32	500	80.5	9.22	0.080±0.014	4.0	7.57	0.838**
26	27	549	73.8	8.17	0.162±0.028	6.7	5.89	0.843**
31-1	22	538	71.5	7.55	0.100±0.007	4.3	6.39	0.965**
-2	39	533	71.4	7.91	0.103±0.006	3.0	6.73	0.975**
33-1	25	503	61.9	8.09	0.114±0.009	3.5	7.90	0.956**
-2	33	516	60.4	7.53	0.219±0.016	2.5	7.43	0.963**
36	20	564	71.3	7.46	0.189±0.010	2.4	5.32	0.981**
Mean ±SD		528.7 ±23.5**	71.8 ±7.2*	8.14 ±0.61**	0.133±0.046**	4.0 ±1.5*	6.72 ±0.87**	0.914 ±0.076 NS

*P<0.05 **P<0.01 NS: not significant. †Regression equation, Y=a+b(X-60), Y=HP (Kcal/W^{0.75}・h), X=HR (beats/min)

Fig. 1. Typical examples of the relationship between heart rate and heat production of pre-partum and postpartum Holstein cows. Regression constants were shown in Table 1.

相関図を図1に例示した。相関係数は、分娩前の一例を除きすべて有意($P < 0.01$)であり、分娩前、後に違いは認められなかった。回帰係数は、分娩前で小さく分娩後に大きな値を示した。推定誤差は、分娩前に比べ分娩後でやや小さい($P < 0.05$)傾向にあり、その値は $\pm 2.4 \sim 6.8\%$ の範囲で、分娩前、後とも $\pm 7\%$ を越えるものは一例もなかった。しかしながら、分娩前、後区とも回帰係数のC.V.は、35%に達する大きなもので、個体差の明らかな存在が認められた。また2回以上測定した例において、日々間に比較的大きな違いが認められる例もあった。

考 察

一般にHRは、妊娠の進行に伴い漸増し、妊娠末期に最高値に達し、分娩後減少する傾向を示す^{9,10)}。橋爪らは¹¹⁾妊娠の進行に伴うHPの増加とともに、HRも同様に増加することを示し、分娩後のHPは、妊娠末期の最高値に近いと報告している。今回の分娩前24~2日にわたるHRの測定においては、妊娠の進行に伴い増加するという傾向は、短期間であったためか認められなかったが、分娩後のHRは、分娩前に比べ有意に減少することを示した。一方、分娩後のHPは、分娩前に比べ1.3倍と有意に増加していた。柴田らは¹²⁾、妊娠前の乾乳牛のHRは平均50.5回/分、HPは平均5.44 kcal/W^{0.75}·hとしており、これに比べ今回の妊娠末期および泌乳期のHRとHPは、いずれも高いレベルにあった。

表1および図1に例示したように、HRとHPの相関

関係は、分娩前の一例を除くといずれも高く、PEも全体の平均は $\pm 4.8\%$ で、 $\pm 7\%$ を越える個体はなく、HRからHPを推定できる可能性を強く示すものであった。

回帰係数の分娩前、後の差は大きく、有意であった($P < 0.01$)。これは、妊娠末期における胎児の高い栄養要求、泌乳期の活発な物質代謝など、妊娠進行、分娩、泌乳開始に伴う心肺機能の変化を反映し生じたものと考えられるが、同時に妊娠末期と泌乳期では、少なくとも別々の推定式を用いなければならないことを示唆するものと考えられた。

今回の結果における特徴は、関係式に認められる分娩前、後の明らかな違いと、両区におけるHR、HPおよび回帰係数に認められる個体差であった。分娩前、後の明らかな違いは、主としてHPにあり、両者の共通の推定式を求めることはできないと考えられた。次に各区内の個体差を除くため、採食前のHRを基準にしたRHR法^{2,5)}を用いたところ、PEは分娩前 ± 10.9 、分娩後 $\pm 10.5\%$ と、各個体ごとの値(表1)をはるかに上回るだけでなく、実用限界とされる $\pm 10\%$ ¹³⁾を越えるものであった。

そこで、改めて次の試みを行なった。すなわち、分娩前および分娩後区の平均HP(分娩前6.32、分娩後8.14 kcal/W^{0.75}·h)に対応する各個体ごとのHRを、それぞれの回帰式から求めて基準HRとした。この基準HRに対するHRの比率(RHR)を算出し、分娩前、後それぞれひとまとめにしてRHRとHPの関係を求めた。

Fig. 2. The relationship between relative heart rate (RHR, X) and heat production (Y) of six pre- and postpartum Holstein cows. RHR is a ratio of HR to basic HR, which is calculated by substituting the mean value of HP in pre- and postpartum groups into the regression equation for each cow (Table 1). The mean values of basic HR are 85.8 and 70.9 (beats/min) in pre- and postpartum, respectively.

RHR と HP の関係を図 2 に示した。

分娩前、後で、それぞれひとまとめにした回帰式の PE は、いずれも $\pm 6\%$ を下回り、各個体ごとに求めた値 (表 1) に近く、推定式として極めて有効であると考えられた。

また、各個体別の直線回帰における回帰係数の C. V. は分娩前、後とも大きなものであった (分娩前平均 13.2,

分娩後 11.2%) が、本法による全体の回帰式の C. V. は、分娩前 3.5、分娩後 3.7% と小さく、安定したものであった。

本法を用いて、SHIBATA and MUKAI¹⁴⁾ が 5 つの飼養条件下で測定した泌乳牛の平均 HR から群の平均 HP を推定したところ、表 2 に示す結果を得た。実測された平

Table 2. The difference between HP and estimated HP from HR in lactating Holstein cows

Treatment*	HR* (beats/min)	RHR**	HP* (A) (kcal/W ^{0.75} .h)	Estimated HP (B)*** from HR (kcal/W ^{0.75} .h)	B/A (%)
L C	70.5	0.99	7.91	7.99	101.0
H C	66.3	0.94	7.90	7.55	95.6
L M	68.1	0.96	7.53	7.74	102.8
H M	69.4	0.98	7.81	7.88	100.9
L R	64.7	0.91	7.50	7.38	98.4
Mean $\pm$ SD					99.7 $\pm$ 2.8

*Cited from SHIBATA and MUKAI¹⁴⁾. **RHR1=70.9 (beats/min). ***Estimated values were calculated from equation for postpartum in Fig. 2.

均 HP (100) に対する推定 HP の比率は、平均 $99.7 \pm 2.8\%$ となり、高い精度で推定が可能であることを示した。

以上の結果から、分娩前および分娩後において、キャリブレーションを行わずに、HR から HP を推定するには、HR の個体差を除くために少なくとも 4~6 頭の平均 HR を用い、平均基準 HR (分娩前 85.8 ± 18.8 , 分娩後 70.9 ± 5.9 回/分) から RHR を求め、図 2 に示した推定式により、群としての HP を算出する方法を提案したい。なお、平均基準 HR とは、先に述べた分娩前および分娩後における平均 HP を用いて、各個体ごとに算出した基準 HR の平均値である。

本研究を行なうに当たり、種々ご配慮いただきました広島大学付属農場、赤木英二、塩飽忠博両技官に心から感謝いたします。

文 献

- 1) 山本禎紀・古本 史, 日畜会報, **51**: 541-547. 1980.
- 2) 山本禎紀・山田英俊・三村 耕, 日畜会報, **48**: 131-137. 1977.
- 3) HOLMES, C. W., D. B. STEPHENS and J. N. TONER, Livestock Prod. Sci., **3**: 333-341. 1976.
- 4) YAMAMOTO, S., J. A. McLEAN and A. J. DOWNIE, Br. J. Nutr., **42**: 507-513. 1979.
- 5) 山本禎紀・松岡 邦裕・山田 英俊・三村 耕, 日畜会報, **48**: 138-143. 1977.
- 6) WEBSTER, A. J. F., Br. J. Nutr., **21**: 769-785. 1967.
- 7) BROCKWAY, J. M. and E. H. McEWAN, J. Physiol., **202**: 661-669. 1969.
- 8) McLEAN, J. A., Br. J. Nutr., **27**: 597-600. 1972.
- 9) DUKES, H. H., The physiology of Domestic Animals. 142-145. Comstock Publishing Associates. New York. 1964.
- 10) 山本禎紀, 栄養生理研究会報, **23**: 59-73. 1980.
- 11) 橋爪 徳三・浜田竜夫・増淵 敏彦・横田千尺, 畜試研報, **3**: 121-123. 1963.
- 12) 柴田正貴・向居彰夫, 日畜会報, **53**: 33-38. 1982.
- 13) BROCKWAY, J. M., Proc. Nutr. Soc., **37**: 13-19. 1978.
- 14) SHIBATA, M. and A. MUKAI, Jpn. J. Zootech. Sci., **50**: 630-637. 1979.

The Relationship between Heart Rate and Heat Production of Dairy Cows in Prepartum and Postpartum

Koki FUKUHARA, Toshiaki SAWAI and Sadaki YAMAMOTO

Department of Animal Science, Hiroshima University, Fukuyama-shi 720

1. Heart rate (HR) and heat production (HP) were measured simultaneously using a head cage for six pre- and postpartum Holstein cows. 2. HR after parturition decreased as compared with prepartum, but conversely, HP increased significantly after parturition. 3. The regression of HP on HR was significant in all cases. The accuracy of prediction error (PE, $Sy \cdot x$), expressed as a percentage of $\bar{y}$ was $\pm 4.8\%$ (range $\pm 2.4 \sim 6.8\%$). However, there were wide differences in the values of the regression constants between pre- and postpartum groups and also among individuals of the same group. 4. For pre- and postpartum dairy cows, the following equations for the estimation of HP from HR were determined to eliminate the need to calibrate for each individual cow.

Prepartum: $Y = 0.962 + 5.335 X$, $Y = \text{HP (kcal/W}^{0.75} \cdot \text{h)}$, $X = \text{RHR (RHR} = \text{HR}/85.8)$

Postpartum: $Y = 0.535 + 7.502 X$, $Y = \text{HP (kcal/W}^{0.75} \cdot \text{h)}$, $X = \text{RHR (RHR} = \text{HR}/70.9)$

The mean values of basic HR are 85.8 and 70.9 (beats/min) in pre- and postpartum, respectively. 5. A better way to estimate HP from the above linear regression would be to use a mean group HR with a minimum of 4~6 cows, in order to correct for differences in individual HR.

日畜会報, **54** (9): 497-501, 1983