

乳牛の心拍速度,泌乳エネルギー及び熱発生量の泌乳
期間中の関連性

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 板野, 志郎, 大久保, 忠旦 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5845

乳牛の心拍速度, 泌乳エネルギー及び熱発生量の 泌乳期間中の関連性

板野志郎・大久保忠旦*

農学部附属農場 *茨城大学 理学部

(1997年 7 月18日受理)

The Relationships during Lactation between Heart Rate, Milk Energy and Heat Production in Dairy Cows

Shiro ITANO and Tadakatsu OKUBO*

Experimental Farm, Faculty of Agriculture

** Faculty of Science, Ibaraki University*

(Received July 18, 1997)

SUMMARY

To study the energy metabolism during lactation for dairy cows, the relationships between heart rate, milk energy and heat production were analyzed. The values of heart rate (*HR*) and heat production (*HP*) of 4 Holstein cows were measured simultaneously using mask method and telemetry system of *HR*. The regression models and its validity between *HR* and *HP* were investigated. The variation during lactation in consecutive 24 hours *HR* and milk energy (Y :mj/mbs/day) was measured, the changes in daily heat production (*DHP*: mj/mbs/min) were estimated by using this *HR* and the regression models above. Based on the above, the relationships between the daily mean values of *HR* (*DHR*), milk energy (Y) and daily heat production (*DHP*) were analyzed. The results were as follows. 1. A close regression relationship between *HR* and *HP* was shown in each experiment cow ($r=0.8303-0.9733$, $P<0.01$). 2. Both of *DHR* and *DHP* had their peaks within post-calving 100 days, and were decreasing with lactation series as same as milk energy (Y). 3. A positive correlation between *DHR* and Y was shown (total: $r=0.7215$, $P<0.01$), and the average change of Y with *DHR* 1 beat was 0.0108 mj/mbs/day. 4. A close positive correlation between Y and *DHP* was shown (total: $r=0.8495$, $p<0.01$). 5. Using the regression models between Y and *DHP*, metabolizable energy requirement for maintenance was calculated to be 0.4237 or 0.4901 mj/mbs/day. 6. Using the same models above, the utilization efficiency of metabolizable energy for lactation was calculated to be 53.76 or 57.00%. These results showed that the changes in energy balance of lactating cows strongly connected with their heart rate. It is highly probable that the changes in heart rate of cows vary their bloodflow volumes and that the result influences the intensity of lactational metabolism.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ.(62) : 109-117, 1997

要 約

泌乳期間中の乳牛のエネルギー代謝の基礎知見を得るため, 乳牛の心拍速度と熱発生量, 泌乳エネルギー間の関連性を分析した。泌乳中のホルスタイン種4頭に対し, ガスマスク法と心拍数のテレメトリーを利用して熱発生量と心拍速度を同時測定し, それらの間の回帰モデルを作成した。また各試験牛の泌乳期間中の24時間連続心拍速度 (beats/min) と泌乳エネルギー (Y :mj/mbs/day) の変化を測定し, この日平均心拍速度 (*DHR*:beats/min) の動態から, 上記の回帰モデルを利用することで泌乳期間中の日熱発生量 (*DHP*:mj/mbs/day) の動態を推定した。以上のことをふまえて日平均心拍速度, 泌乳エネルギーおよび日熱発生量間の関係を解析した。結果は以下の通りである。 1. 心拍速度と熱発生量の間には明確な一次

の回帰関係 ($r=0.8303-0.9733$, $P<0.01$) が示された。 2. 日平均心拍速度, 日熱発生量は分娩後100日以内にピークを持ち, 泌乳エネルギーと同様に泌乳期が進むにつれて減少した。 3. 日平均心拍速度と泌乳エネルギーの間に正の相関があり (全体 $r=0.7215$, $P<0.01$), 日平均心拍速度 1 拍当たりの泌乳エネルギー増加量は $0.0108 \text{ mj/mbs/day}$ を示した。 4. 泌乳エネルギーと日熱発生量は強い正の相関を示した (全体 $r=0.8495$, $P<0.01$)。 5. 泌乳エネルギーと日熱発生量間の回帰モデルから泌乳牛の維持代謝エネルギー要求量として $0.4237 \text{ mj/mbs/day}$ もしくは $0.4901 \text{ mj/mbs/day}$ が推定された。 6. 泌乳のための代謝エネルギーの利用効率 (k_l) として 53.76% もしくは 57.00% が推定された。これらの結果は, 泌乳牛のエネルギー収支の泌乳期間中の変動が心拍速度と強く関連していることを示しており, 心拍速度の変動が血流量に影響し, その結果泌乳代謝に影響を与えることが示唆された。

緒 言

泌乳エネルギーは摂取された飼料エネルギーが体内における代謝により変換されたエネルギーであり, それは分娩から50日までの間に急速に上昇し, それ以降緩やかに減少する。このことは, 泌乳代謝に伴う熱発生量もまた泌乳期間中の乳生産の動きに影響を受けることを示唆している。乳牛のエネルギー代謝の泌乳期間中の動態を把握することはその期間中の乳牛の飼養管理を行う上で重要であるが, 実際の飼養環境下で泌乳牛の長期にわたる熱発生量の測定はほとんどなされていない。この主な理由には乳生産を行っている動物を代謝試験室で長期にわたりかつ長時間測定することが困難であること, そして代謝試験室で測定されたエネルギー収支が必ずしも実際の飼養管理下での値を反映しないことがあげられる。

一方, 動物の心拍速度 (beats/min) から熱発生量を推定する方法が以前から山本^{1,3)} により試みられており, かなりの精度でその値を推定できることが示されている。これは心拍速度の変化に伴う単位時間当たりの血流量の変動が, 血中酸素消費量を決定しているという考えによるものである。もし泌乳牛がこの原理に従うならば, 心拍速度の連続測定により通常飼養管理下での泌乳エネルギー代謝の知見を得ることが可能である。牛の心拍の長時間連続測定の方法は松井・大久保⁴⁾ や Matsui & Itano⁵⁾ による一連の試験により確立されている。しかしながら, 先に示した理由から乳牛の泌乳期間中の泌乳エネルギー, 熱発生量, 心拍速度の間の関連性についてはほとんど解明されていない。

そこで本研究では, まず泌乳期間中の心拍速度と熱発生量の関係式を求め, この式を利用して泌乳期間中の泌乳エネルギーの変化を伴う日平均心拍速度および日熱発生量の動態を明らかにした。その結果から泌乳期間中の泌乳エネルギーと熱発生量の関係および乳牛に必要な維持エネルギー要求量と泌乳のための利用効率を算出した。

方 法

1. 実験牛及びその飼養管理

供試した牛とその試験日程を表 1 に示した。試験牛は東京大学附属牧場において1990年5月から8月に分娩した泌乳中のホルスタイン種4頭; うち1産次2頭, 4産次1頭, 5産次1頭である。各個体に対して泌乳期15日から251日の間, 8回から13回の試験が行われた。各試験を挟んで5日間隔で体重を測定し, その平均値を各試験期の体重とした。また次項に示す方法で各試験牛の心拍速度と乳脂肪率を測定した。試験期中の飼養管理は通常管理に準じ, 朝と夕方2回の搾乳を行い, 飼料給与量は日本飼養標準に従った。

2. 泌乳期間中の日平均心拍速度と泌乳エネルギーの測定

各試験期間内に各個体の24時間の心拍数を連続測定した。測定には松井・大久保⁴⁾ および Matsui & Itano⁵⁾ の方法を利用し, 小型携帯用心拍測定記憶装置 (竹井製) を牛体に装着, 右肩こう部と左胸腹部からの心拍の電位差を A-B 誘導法により測定した。この機器により, 測定時間帯の全ての心拍数が1分間隔で記録された。記録されたデータは牛体から脱着後パーソナルコンピュータにより出力し, そのあと日平均心拍速度 (DHR: beats/min/day) とその標準偏差を計算した。

Table 1. The outline of experiment date

	Calving number	Post-calving days on each experiment													HR-HP correlation		
		Daily heart rate and milk yields															
no.1	1	15	17	56	57	108	109	149	150	184	185	226	227	26	65	175	
no.2	1	38	39	133	134	173	175	202	203					210			
no.3	4	23	24	74	75	167	168	205	206	209				225			
no.4	5	17	19	52	64	80	82	138	145	180	222	249	250	251	26	65	258

HR: heart rate, HP: heat production

また心拍数の測定日に併せて各供試牛の泌乳量とそのサンプルから乳脂率を測定し、次式を用いて試験期間中の泌乳エネルギー (Y : mj/mbs/day) を推定した。

$$Y = M \cdot (0.4 + 0.15 \cdot F) \cdot 3.138 / W^{0.75} \quad (1)$$

ここで M は乳量 (kg/day), F は乳脂率 (%), W は体重 (kg) を示す。この式から計算される値は乳量と乳脂率から 4 % 補正乳量を算出し、そのエネルギー価を 3.138 MJ/kg で換算したものである。また本論文で示すエネルギー量は個体間の体格差を補正するために代謝体重 (mbs: $W^{0.75}$) あたりで表している。

3. 心拍速度と熱発生量間の関係式の作成

泌乳期間中の乳牛の熱発生量 (HP : mj/mbs/min) を心拍速度 (HR : beats/min) から推定するため、各試験牛の泌乳期間中に心拍数と熱発生量を同時に測定した (表 1)。測定は no.1 及び no.2 に対しては泌乳前、中、後期の 3 試験, no.3 及び no.4 に対しては泌乳後期に 1 試験を行った。

試験牛の心拍は、テレメトリーシステムで 2 ~ 3 分間測定、その間の呼気をガスマスクを使ってダグラスバッグで回収した。それに併せて試験個体の体重と外気酸素濃度を測定した。一測定期にこの操作を 10 回前後行ったが、その時心拍速度を変化させるため測定時間帯の変更もしくは軽度の負荷運動を与える操作を行った。

サンプリングされた呼気からその酸素濃度と呼気量を測定、呼気と外気の酸素濃度間の差から酸素摂取量を算出し、その値から熱発生量を推定した。酸素摂取量から熱発生量の推定には Yamamoto et al.⁶⁾ や Mclean⁷⁾ によって示された次式を用いた。

$$HP = 4.89 \cdot V_o \cdot X / W^{0.75} \quad (2)$$

ここで V_o は呼気と外気の酸素濃度の差 (%), X は呼気量 (l/min), W は体重 (kg) を示す。本研究はこの式から推定された各個体の熱発生量と呼気のサンプリングと同時に測定した心拍速度間間の関係を心拍速度を独立変数、熱発生量を従属変数とした 1 次回帰モデルで表した。

4. 解析

本論文の解析は以下の手順で進められた。まず、心拍速度を独立変数、熱発生量を従属変数とした一次回帰モデルを作成し、各回帰式の精度を心拍速度の測定範囲や相関係数により検出した。その結果から泌乳期間中の熱発生量推定のための心拍速度の利用性と測定方法についての考察を加えた。次に、これらの回帰式と泌乳期間中の各試験牛の測定データを利用して、泌乳エネルギー、心拍速度および熱発生量の泌乳期間中の動態を示した。最後に、泌乳期間中の日平均心拍速度、泌乳エネルギーおよび日熱発生量の間の相関関係を解明し、その関係式から泌乳期間中の維持要求量と泌乳のための代謝エネルギーの利用効率を推定した。

結 果

1. 心拍速度による熱発生量の推定

心拍速度 (HR: beats/min) と代謝体重当たりの熱発生量 (HP: mj/mbs/min) の相関関係とその回帰モデルを図 1 及び表 2 に示した。

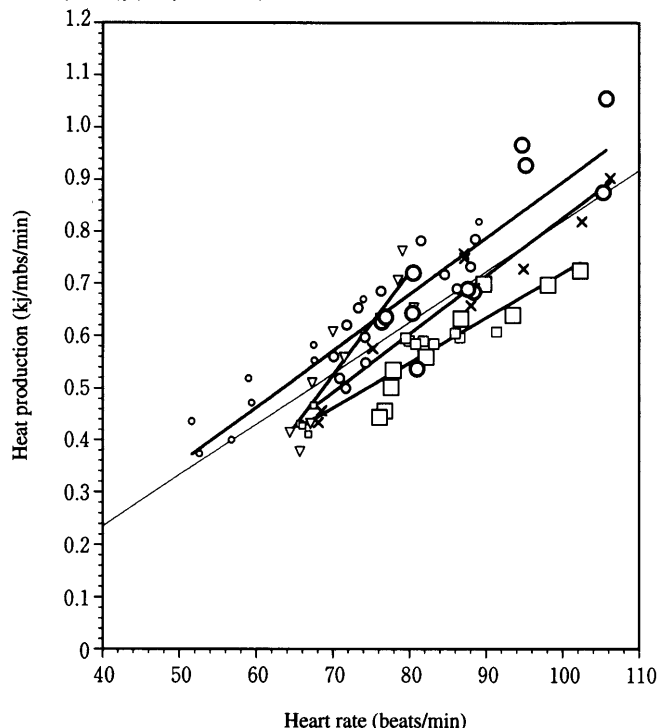


Fig.1 The relation between heart rate and heat production. Thick lines are regression models on each experiment cow, and thin line is regression model for all the data. Large squares: no. 1-26, middle squares: no.1-65, small squares: no.1-175, crosses: no.2- 210, reverse triangle: no.3-225, Large circles; no.4-26, middle circles: no.4-65, small circles: no.4-258. The numerals behind hyphen show measured post-calving days.

各回帰式とデータ間の当てはまりは良く、泌乳牛の熱発生量は心拍速度の増加に従い増大していった。No.1の泌乳期65日と175日を除く各測定時毎の回帰式の相関係数は0.8408～0.9733の範囲に、全データを使った一次回帰式の相関係数は0.8303, 泌乳前, 中, 後期と3回に渡り試験されたno.1とno.4の個体毎にまとめた回帰式の相関係数は各々0.9278及び0.9160を示した。No.1の泌乳期65日と175日の回帰式の当てはまりが低い主な理由は、この試験期に心拍速度が79.5～91.4beats/min及び65.7～67.5beats/minの狭い測定範囲しか示せなかったためである。

今回の試験においては心拍速度の測定範囲は測定時期により異なった。広範囲の測定範囲を示した試験期は、no.2の泌乳期210日の心拍速度68.1～106.2 beats/min (範囲38.1) とno.4の泌乳期258日の心拍速度51.6～89.1 beats/min (範囲37.5) であった。これに対しno.3の泌乳期220日の回帰式は相関係数が0.9185と高い当てはまり精度を示したが、心拍速度の測定は64.6～80.6beats/min (範囲20.0) の狭い範囲しかとれなかった。no.3の泌乳期間中の日平均心拍速度が72.03～92.32の範囲にあることを考慮に入れると (図2参照),

Table 2. Estimate of heat production with heart rate

	Lactation (days)	n=	Equations	r=	
No.1	26	10	HP = 0.0101•HR - 0.2841	0.9318	**
	65	8	HP = 0.0016•HR + 0.4624	0.7472	**
	175	4	HP = 0.0159•HR - 0.6237	0.5490	ns
	Total	22	HP = 0.0086•HR - 0.1402	0.9278	**
No.2	210	10	HP = 0.0111•HR - 0.2866	0.9588	**
No.3	225	10	HP = 0.0196•HR - 0.8492	0.9185	**
No.4	26	11	HP = 0.0137•HR - 0.4533	0.8706	**
	65	13	HP = 0.0117•HR - 0.2617	0.8408	**
	258	9	HP = 0.0115•HR - 0.2049	0.9733	**
	Total	33	HP = 0.0108•HR - 0.1862	0.9160	**
Total		75	HP = 0.0098•HR - 0.1544	0.8303	**

HP: heat production (kj/mbs/min), HR: heart rate (beats/min), **: P<0.01

ns: not significant

no.3の回帰式は心拍速度が64.6～80.6beats/minの測定範囲内ならば利用できるがそれを超えた心拍速度の時の熱発生量推定には利用しにくい。またno.4の泌乳前、中、後期の各回帰モデルの間には回帰係数および回帰定数ともに5%水準で有意差を示さず(分散分析)、泌乳期全体の回帰モデルの精度も高いことから($r=0.8303$, $P<0.01$)、この個体に関しては回帰モデルの泌乳期による差がないことが示された。またno.1の泌乳前、中、後期の3つの回帰式は内2つが回帰式の心拍速度の測定範囲が小さくその測定域も異なることから統計分析にかけことは行わなかったが、図1に示したように各測定時期のデータは同一直線上に乗った。

われわれは上記の理由から、次項に示す泌乳期間中の日平均心拍速度から日熱発生量を推定推定するために、次に示す回帰モデルの選択を行った。no.1およびno.4に対しては個体全体のデータを通して得られた回帰式を、no.2には試験が一度だけであるがその測定範囲広いことからその式を利用した。no.3に対しては日平均心拍速度が64.6～80.6beats/minの測定範囲内からはずれたものは除き泌乳期225日の回帰式を利用した。結果的にno.3で利用された日平均心拍速度のデータは泌乳期167日から209日の期間中のものであり、これはno.3の回帰式の測定時期すなわち泌乳期225日と似通ることになった。

2. 泌乳期間中の日平均心拍速度、泌乳エネルギー、日熱発生量の動態

図2で示すように泌乳エネルギー(Y: mj/mbs/day)は泌乳期70日までに最高値を示しそれ以降減少した。測定された泌乳エネルギーの最高値は分娩回数の多い個体ほど高く5産分娩のno.4が0.8202mj/mbs/day、4産次のno.3は0.6619mj/mbs/day、1産次のno.1とno.2はそれぞれ0.5974mj/mbs/day、0.4945mj/mbs/dayであった。一方、泌乳期200から230日の泌乳エネルギーは各試験牛が0.2848～0.4362mj/mbs/dayの範囲にあり、泌乳期後半の産次間差は小さくなった。

日平均心拍速度(DHR: beats/min)もまた泌乳エネルギーと同様には泌乳期70日以内に最高値を持ち、泌乳期が進むにつれて減少した。ただしその産次間差は泌乳期間中を通じてはっきりしなかった。最高時では5産次のno.4が87.45beats/min、4産次のno.3が92.32beats/min、1産次のno.1およびno.2がそれぞれ92.55beats/min、85.80beats/minを示し、泌乳期後半の200から230日においても一産次のno.2が59.13～59.38beats/min低い値を示す他は、70.06～74.60beats/minの範囲にあった。

泌乳牛の心拍速度(beats/min)の日内変動は平均心拍速度から10拍前後の所に約70%が集まった。その日内標準偏差は全個体を通じて平均値で±8.60、最低時で個体no.2の泌乳期202日の±5.87、最高時で個体no.4の泌乳期180日の±13.20であった。また心拍速度の日内変動の泌乳期間中の動態は一定の傾向を持たなかった；図2から視覚的にも解るように標準偏差の大小は泌乳期とは関係せず、個体間でも異なった。

日熱発生量(DHP: mj/mbs/day)は泌乳期50日までに最高値を示しそれ以降減少した。日平均心拍速度から推定した日熱発生量は、先に示したように4産次のno.3の泌乳時期の心拍速度のデータが一部除去されているため、泌乳エネルギーほど明確でないが分娩回数の多い個体ほど高く5産次

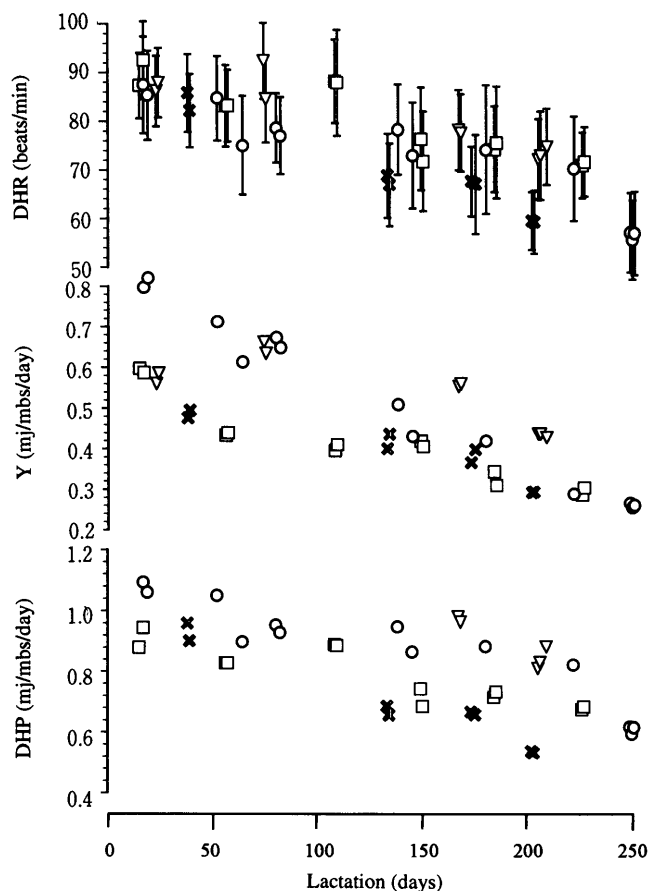


Fig.2. The variation of daily heart rate, milk yields and daily heat production. DHR: the daily mean values of heart rate (beats/min), Y: milk yields (mj/mbs/day) and DHP: daily heat production (mj/mbs/day). The bars on the top show standard deviations. Squares: no.1, crosses: no.2, reverse triangles: no.3 and circles: no.4.

のno.4は日熱発生量0.5938～1.0919mj/mbs/dayの測定範囲にあり、1産次のno.1とno.2はそれぞれ0.6747～0.9443mj/mbs/dayおよび0.5324～0.9587 mj/mbs/dayの範囲で測定された。4産次のno.3のデータが存在する泌乳期150日から230日の日熱発生量では、3産次分娩のno.3が0.8102～0.9800mj/mbs/dayで最も高い値を示し、ついで5産次分娩のno.4が0.8215～0.8826mj/mbs/day、1産次のno.1とno.2はそれぞれ0.6747～0.7422mj/mbs/dayおよび0.5324～0.6667mj/mbs/dayの範囲を示した。

3. 日平均心拍速度、泌乳エネルギー、日熱発生量の関連性

泌乳期間中の日平均心拍速度 (DHR: beats/min) と泌乳エネルギー (Y: mj/mbs/day) および日熱発生量 (DHP: mj/mbs/day) の間の相関図を図3に、それらの間の回帰モデルを表3に示した。

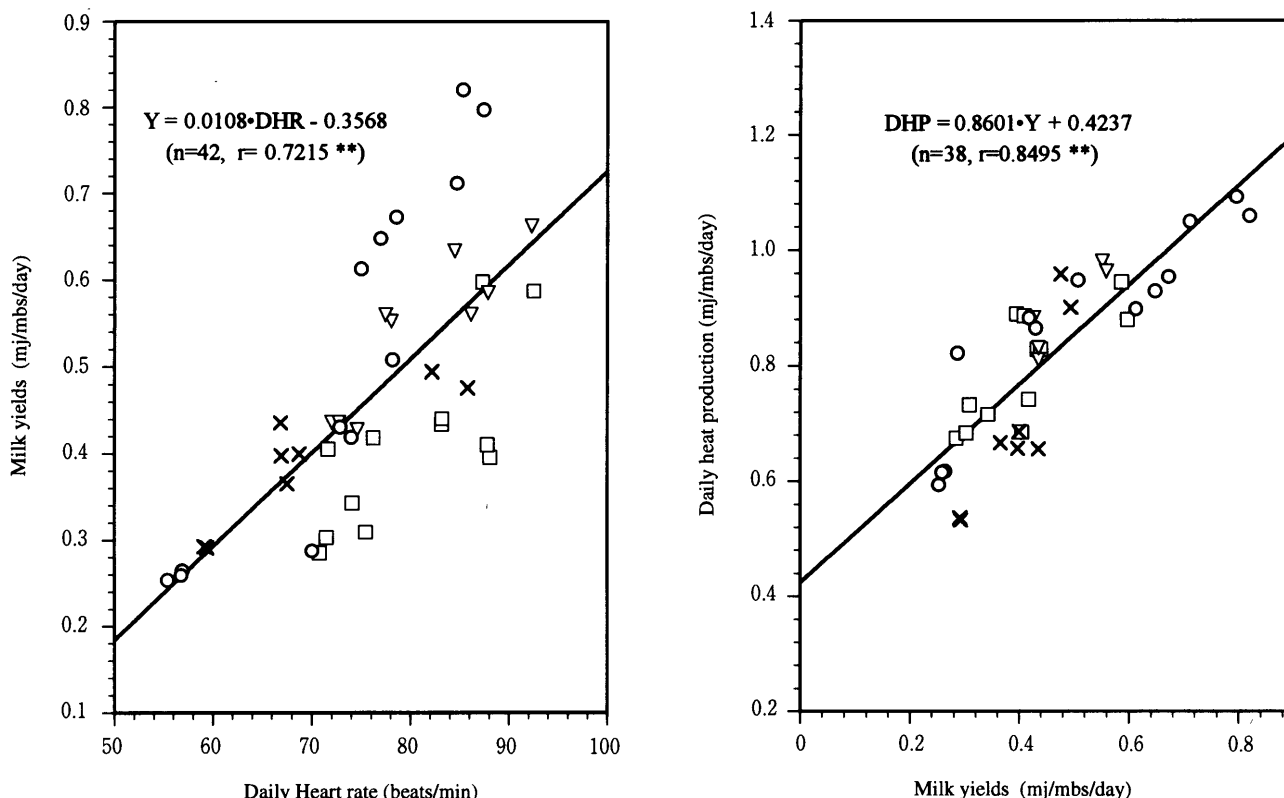


Fig. 3 The relation among daily heart rate, milk yields and daily heat production on each experiment cow. DHR: the mean values of daily heart rate, Y: milk yields (mj/mbs/day), DHP: daily heat production (mj/mbs/day), r: regression coefficient ** $P < 0.01$. Squares: no.1, crosses: no.2, reverse triangles: no.3 and circles: no.4. Solid lines show the regression models with all the data.

日平均心拍速度と泌乳エネルギーの間にはどの個体でも強い正の相関を示した。心拍速度を独立変数、泌乳エネルギーを従属変数にした一次回帰モデルは、全てのデータを利用した時は個体毎に作成したモデルに比べ少し低い当てはまりを示したが (相関係数 $r=0.7215$)、個体毎にみるとno.1の $r=0.7746$ 以外は $r=0.8906 \sim 0.9170$ であり高い一致を示した。このときの回帰係数は1日平均心拍速度が1拍増加したときの泌乳エネルギー量の増分としてとらえることができる。その回帰係数は全体で0.0108、個体毎にみると5産次のno.4が0.0177、4産次のno.3が0.0107、1産次のno.1とno.2がそれぞれ0.0100、0.0071を示した。供試個体数が少ないためはっきりしたことはいえないが産次の進むほど一拍当たりの泌乳エネルギーの増加は高くなる傾向があった。

また泌乳エネルギー (Y: mj/mbs/day) と日熱発生量 (DHP: mj/mbs/day) の間にも強い正の相関が示された。個体毎の日熱発生量は日心拍速度を利用した一次回帰式から計算されるため、いくつかのデータが削除されたno.3以外はDHR-Y間の相関性と同じ値を示した。ただし、全てのデータを利用した時の相関性は $r=0.8495$ を示し、DHR-Y間より強い関連性が示された。

ここでこの泌乳エネルギー (Y: mj/mbs/day) と日熱発生量 (DHP: mj/mbs/day) の間の回帰モデルが泌乳

Table 3. Regression model among daily heart rate, milk yields and daily heat production

Daily heart rate - milk yields					
	n=	Equations	r		
No.1	12	$Y = 0.0100 \cdot \text{DHR} - 0.3940$	0.7746	**	
No.2	8	$Y = 0.0071 \cdot \text{DHR} - 0.0988$	0.9028	**	
No.3	9	$Y = 0.0107 \cdot \text{DHR} - 0.3205$	0.8906	**	
No.4	13	$Y = 0.0177 \cdot \text{DHR} - 0.7838$	0.9170	**	
Total	42	$Y = 0.0108 \cdot \text{DHR} - 0.3568$	0.7215	**	

Milk yields - daily heat production					Estimated	
	n=	Equations	r		ME _m	k _l
No.1	12	$\text{DHP} = 0.7402 \cdot Y + 0.4868$	0.7746	**	0.4868	0.574647
No.2	8	$\text{DHP} = 1.8388 \cdot Y - 0.0254$	0.9028	**	-	0.352262
No.3	5	$\text{DHP} = 1.0371 \cdot Y + 0.3931$	0.9125	*	0.3931	0.490894
No.4	13	$\text{DHP} = 0.7381 \cdot Y + 0.4916$	0.9170	**	0.4916	0.575341
Total	38	$\text{DHP} = 0.8601 \cdot Y + 0.4237$	0.8495	**	0.4237	0.537606

Y: milk yields (mj/mbs/day), DHR: the daily mean values of heart rate (beats/min),

DHP: daily heat production (mj/mbs/day), **P<0.01, *P<0.05,

ME_m: metabolizable energy requirement for maintenance,

k_l: Utilization efficiency of metabolizable energy for lactation

牛のエネルギー代謝に対して持つ意味について考えてみる。

$$\text{DHP} = a \cdot Y + b \quad (3)$$

この式の回帰定数 b は泌乳エネルギーを 0 のときの熱発生量を表す。これは体重の増減も含まれているが、泌乳牛の体重変化に伴うエネルギー変動が泌乳エネルギーの変動に比べてかなり小さいことを考えれば、この値を維持エネルギー要求量 (ME_m) と考えてもよい。

$$\text{ME}_m = b \quad (4)$$

また泌乳のための代謝エネルギーの利用効率 (k_l) は次式のように表すことが出来る。

$$k_l = Y/\text{ME}_y = Y/(Y + \text{HP}_y) = 1/(1 + \text{HP}_y/Y) \quad (5)$$

ここで ME_y は泌乳のために利用される代謝エネルギー、 Y は泌乳エネルギー、 HP_y は泌乳代謝由来の熱発生量を示す。この時、右辺の HP_y/Y は泌乳エネルギーと熱発生量間の一次回帰式の回帰係数 (a) と同じである。すなわち泌乳のための代謝エネルギーの利用効率 (k_l) は式 (3) の回帰係数 a を使って次式のように表せる。

$$k_l = 1/(1 + a) \quad (6)$$

上記の式 (4) を利用して泌乳期間中の乳牛の維持要求量 (ME_m: mj/mbs/day) を計算すると、no.1 と no.4 でそれぞれ ME_m = 0.4868 mj/mbs/day, 0.4916 mj/mbs/day となった。一方、no.2 から予測される ME_m は負の値、すなわち理論的にあり得ない値を示し、また no.3 の ME_m は 0.3931 mj/mbs/day の低い値を示した。no.2 と no.3 に関しては、独立変数となる泌乳エネルギーの範囲が no.2 では 0.2913 ~ 0.4945 mj/mbs/day, no.3 では 0.4274 ~ 0.5594 mj/mbs/day と狭いこと、全体の回帰モデルの線上の近くにこれらのデータが乗ることを考えると、この 2 個体に関しては独立に考えない方がよい。全データを含めた維持要求量は 0.4237 mj/mbs/day, 維持要求量を低く見積もらせる可能性のある no.2 のデータを除いて計算された維持要求量は 0.4901 を示した。

次に泌乳のための代謝エネルギーの利用効率 k_l は式 (6) を用いて、no.1 と no.4 でそれぞれ k_l = 0.5746 および 0.5753 を示した。一方 no.2 と no.3 の利用効率はそれぞれ k_l = 0.3522 と 0.4909 示したが、上記と同じ理由から単独での信頼性は低い。全データを含めて計算された利用効率 k_l は 0.5376, no.2 のデータを除いて計算された k_l は 0.5700 の値を示した。つまり泌乳のための代謝エネルギーの 53.76% もしくは 57.00% が乳生産に利用されると推定された。

考 察

本実験の心拍速度から熱発生量を推定する方法は確立されてきているが、その反面、酸素消費量に関係する要因として、心拍速度以外にも酸素含有量の動静脈中の差異や心臓の一拍当たりの血液拍出量があげられるため、いくつかの生理機構面での問題点が指摘されている^{8,9)}。しかし、以下に述べるように個体毎にその関係式を作成し、それが実用に耐える条件を満たすならば利用には差し支えないであろう。ただし泌乳中の乳牛にこの方法を用いるときには、泌乳期間中の心拍速度の動きを考慮しておく必要がある。本研究の結果は、日平均心拍速度が泌乳期間中に高いときで92.55beats/min、低いときで55.42 beats/minと大きく変動すること、その一日の標準偏差が平均で8.60であることを示した。このことを考慮すると、心拍速度による熱発生量推定式を作るに当たり、今回の実験のように一回の測定期に数回のサンプリングを行う方法は心拍速度の変動幅が大きくとれないこともあり、利用に注意が必要である。例えばno.1の泌乳期65日と175日の心拍速度の範囲はそれぞれ79.5～91.4 beats/min及び65.7～67.5 beats/minであり利用できる幅ではない。これに対し、no.1の全データを含めた推定式は相関係数0.9278と高い精度を示し、同一直線上にデータが乗り、さらに心拍速度の測定範囲62～102をカバーできる。すなわちno.1のように各測定期の心拍速度の測定範囲が非常に小さく、その回帰式の精度に疑いがある時は、各測定期の全データを用いて作成した回帰モデルの精度に信頼がおけるならば、全データを合わせた回帰モデルを利用した方が良いと思われる。またno.3の泌乳期225日の心拍速度の測定範囲は64.6～80.6 beats/min、no.4の泌乳期65日のそれは70.1～88.6 beats/minでその測定範囲が20以下であり、このようなときは推定式の精度が高くても（それぞれ $r=0.9588$, 0.8408 ）、その範囲内にある心拍速度のデータにしか利用しにくい。逆にno.3やno.4の分娩後258日の心拍速度の測定範囲はそれぞれ68.1～106.2, 51.61～89.1beats/minで測定幅が40近くあり、熱発生量に十分利用できると考えられる。しかし泌乳期間全ての熱発生量をこの式から推定する時には、泌乳期の違いで推定式自体が変化する可能性も考慮に入れておく必要がある。no.4は分娩後26, 65, 258日にそれぞれデータを取り、推定式を作成しているがその推定式の間には傾き、高さともに統計的差異はみられなかった。全データを利用して回帰式を作成してみても相関係数は0.9160であり、心拍速度の測定範囲は51.61～105.7を示し、この範囲は泌乳期間中の心拍速度の日平均やその変動を十分カバーできる。no.3については、泌乳期間中にその式が変わる可能性もあるが、今回はその試験を行っていない。

本研究ではこれらのことを考慮して泌乳期間中の各個体の日熱発生量の動きをその期間中の日平均心拍速度から推定した。その結果、泌乳期間中の熱発生量の変動は泌乳量の多い泌乳初期に増加し、泌乳期が進むにつれて減少することが示された。また泌乳期間中の日平均心拍速度も泌乳エネルギーと同様の変動をしていることから心拍速度の変化が泌乳代謝の調節をある程度行っていることが推察される。すなわち、泌乳牛の日平均心拍速度、乳生産及び熱発生量は共に連動していると考えられる。ただし泌乳エネルギーの泌乳期間中の動態には産次間差があるのに対し心拍速度でははっきりしないので、心拍速度は産次差より個体差の方が大きいのかかもしれない。また心拍速度の日内変動は泌乳期間中でかなりばらつき、決まったパターンを示すことはない。このばらつきは測定日の行動の違いによって起こされているのかかもしれないが、その情報を我々は持っていない。

以上のことから乳生産量と、日平均心拍速度、日熱発生量は連動していると考えられるのでその連関がどのくらい強いかを調べたのが結果3であった。

その結果泌乳エネルギーと日平均心拍速度には強い正の相関があり、1日平均心拍速度 (beats/min) の1拍の増加が泌乳エネルギー量0.01mj/mbs/day程度の増加に影響することが示された。これは泌乳牛は心拍速度の上昇によって血流量を上昇させ、それにより泌乳代謝を活発にさせたことを示唆している。また、はっきりとはしないが産次が進んだものほどその心拍速度1拍あたりの泌乳エネルギー増加量が高くなる傾向も示されているので、乳牛は産次もしくは齢が進むにつれて一拍当たりの血流量を増加させている可能性もある。

また泌乳エネルギーと日熱発生量の間にも強い正の相関関係があり、乳生産、心拍速度とも産次が進んだ個体ほどその相対的量が大きいことを示している。このことから泌乳のための代謝活動の上昇が熱発生量

の上昇を引き起こしていると考えられる。またこの泌乳エネルギーを独立変数、日熱発生量を従属変数とした一次回帰モデルの回帰定数と回帰係数を使用して我々は、維持エネルギー要求量 (MEM) として全体として0.4237mj/mbs/dayもしくは0.4901mj/mbs/dayの値を、泌乳のための代謝エネルギーの利用効率 (k_l) として0.5376もしくは0.5700の値を推定した。但しこの試験において信頼のおけるデータを示したno.1とno.4の MEM および k_l の値が $MEM=0.49$ mj/mbs/day, $k_l=0.575$ 付近を示していることから、真の値はこちらの方に近いのかもしれない。泌乳中の乳牛の維持要求量を直接測定することは困難であり、その推定には絶食時代謝量から推定したり、飼料代謝エネルギーと泌乳エネルギーの回帰モデルから推定する方法を用いている。これらの方法を用いた泌乳牛の MEM の値としてSekine et al.¹⁰⁾ や Van Es¹¹⁾ は0.42~0.46mj/mbs/day, Brody¹²⁾ やCoppock et al.¹³⁾ は0.55~0.56の値を示している。本研究の値は前者に近い値を示しているが、乳牛の一般値を解明するためには更に多くの試験が必要と思われる。また、泌乳のための利用効率 k_l の値としては我々は以前10年間の乳牛飼養データからの解析により0.5857の値を算出した¹⁴⁾。またCoppock et al.¹³⁾ やMoe et al.¹⁵⁾ は0.54~0.65の範囲を、Sekine et al.¹⁰⁾ は0.59の値を示した。本研究の泌乳エネルギーと熱発生量の回帰モデルから乳牛の維持要求量と利用効率を求める手法を用いた研究例はほとんどみられないが、今回の結果は他文献の値と比較しても妥当であり、有効な手法であると思われる。

以上のことを要約すると、乳牛の泌乳期間中のエネルギー収支の変動は、心拍速度と強い関連性をもち、心拍速度の変動が血流量に影響し、その結果泌乳代謝に影響を与えることが示唆された。また、今回の心拍速度、泌乳エネルギー、熱発生量の関連性から、泌乳牛のエネルギー代謝に対する基礎知見を得ることが可能であると推察された。

参 考 文 献

- 1) 福原弘紀・沢井利昭・山本禎紀：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。日畜会報54：497-501, 1983.
- 2) 山本禎紀・古本史：泌乳牛の心拍数と熱発生量の関係について。日畜会報51：541-547, 1980.
- 3) 山本禎紀・三村耕・松岡邦裕・山田英俊：乳用種去勢牛の心拍数と熱発生量の関係について—雄子牛との比較—。日畜会報48：138-143, 1977.
- 4) 松井寛二・大久保忠旦：放牧牛の心拍数、顎運動回数および顎運動休止回数の携帯用長期間連続記録装置の開発。日畜会報62：383-389, 1991.
- 5) Matsui, K. & Itano, S. : Further studies of a data logging system for determining the heart rate of cattle grazed on pastures. Anim.Sci.Tech. (Jpn) 63 : 295-300, 1992.
- 6) Yamamoto, S., Mclean, J. A. & Downie, A. J.: Estimation of heat production from heart rate measurement in cattle. Br. J. Nutr. 42 : 507-513, 1979.
- 7) Mclean, J. A. : The significance of carbon dioxide and methane measurements in the estimation of heat production in cattle. Br. J. Nutr. 55 : 631-633, 1986.
- 8) 山本禎紀：家畜の心拍数連続測定による熱発生量推定方法の検討。栄養生理研究会報24：59-73, 1980.
- 9) 山本禎紀・山田英俊・三村耕：乳用種雄子牛の心拍数と熱発生量の関係について—個体差の検討—。日畜会報48：131-137, 1977.
- 10) Sekine, J., Tanaka, S. & Asahida, Y. : A consideration on energetic efficiency of lactation for cows fed concentrate at rates of 25% and 35% of milk yield. Jap. J. Zootech. Sci 58 : 805-811, 1987.
- 11) Van Es, A. J. F. : in "Principles of Cattle Production" Swan, H. & Broster, W.H. ed. London : Butterworth, 237-253, 1976.
- 12) Brody, S. : "Bioenergetics and Growth" New York : Hafner, 1945.
- 13) Coppock, C. E., Flatt, W. P. & Moore, L. A. : Effect of hay to grain ratio on utilization of metabolizable energy for milk production by dairy cows. J. Dairy Sci. 47 : 1330-1338, 1964.
- 14) Itano, S., Okubo, T. & Watanabe, N. : The seasonal change in energy conversion from Feed to milk yields and body retention. Res.Bull.Fac.Agr.Gifu Univ. 60 : 181-189, 1995.
- 15) Moe, P. W., Tyrrell, H. F. & Flatt, W. P. : Energetics of body tissue mobilization. J. Dairy Sci. 54 : 548-553, 1971.