

## 乳牛における乳房内圧と乳汁分泌率との関係

桑田 滋・岡本 悟\*・松尾 昭雄\*  
(附属農場)

昭和59年5月2日 受理

### Relationship between Intramammary Pressure and Milk Secretion Rate in Lactating Dairy Cows

Shigeru KUWADA, Satoru OKAMOTO and Teruo MATSUO  
(Experiment Farm)

*Received May 2, 1984*

#### Summary

The study was conducted to investigate the intramammary pressure levels of cows milking at intervals varying from 2 to 24 hr, and to determine the relationship between these pressure levels and milk secretion rates in the udder. Seven Holstein cows lactating at an average of 9-21 kg daily were used. At the end of each experimental milking interval, intramammary pressures were measured with the pressure sensitive transducer and more sophisticated recording equipment. The amount of milk removed from the udder at each milking was used as an estimate of total yield of milk secreted in the udder.

The intramammary pressures immediately after milking did not exceed 12 mm Hg, but these pressures increased as milking intervals increased up to 18 hr. Although the total yield of milk increased, the rate of its increase decreased with increasing milking intervals. Average milk secretion rate showed a slight increase from 8 to 14 hr intervals, but decreased proportionately as the interval time elongated further. The milk fat percentage was nearly the same for the different intervals, except for the 2 and 4 hr intervals, where marked increase took place. The solids-not-fat percentage was nearly identical for intervals up to 16 hr, but significant reductions were found at 24 hr interval. Level of intramammary pressure was related to the amount of milk produced at each milking; the increase in total milk caused the increase in pressure. The relationship between the intramammary pressures and the total yields of milk secreted was not linear. With the increase of total yield of milk, the intramammary pressure increased asymptotically.

From these results, the intramammary pressure and milk secretion rate may be assumed to be interrelated in the following way. Shortly after milking, the stimulus for milk secretion would be at its greatest, and the rate of secretion would be the highest. As the milk accumulates in the udder, the intramammary pressure begins to increase. As a result of the increasing pressure, the secretion of milk is depressed.

---

\* 農学部畜産学教室

## 緒 言

乳腺胞 (alveolus) の上皮細胞 (epithelial cell) における乳成分生成と上皮細胞から乳腺胞腔 (alveolar lumen) への乳汁放出を一般に乳汁分泌とよんでいる。乳腺胞腔から排出された乳汁が乳腺管 (milk-collecting duct) と乳槽 (cistern) に充満して乳房内圧が上昇すると乳汁分泌率は次第に低下すると考えられるが、乳汁分泌率に対する乳房内圧の抑制効果の詳細については現在まで十分には解明されていない。搾乳終了後からの時間経過に伴って乳汁分泌率がどのように変動するかを推定する方法には、Ragsdale<sup>10)</sup>、Elliott and Brumby<sup>9)</sup>、Turner<sup>15)</sup>、Schmidt<sup>11)</sup>の報告にみられるように種々の搾乳間隔を実験的に設定して行う直接法と、Koshi and Petersen<sup>7)</sup>、Turner<sup>14)</sup>、McMeekan and Brumby<sup>9)</sup>、Donker 等<sup>4)</sup>の報告にあるように、朝夕2回の日常的搾乳に不等間隔搾乳を実施して、その異なる長さの搾乳間隔から推定する間接法がある。これらの方法によって推定された初期の研究の中には、搾乳間隔が12時間を越えると乳汁分泌率の低下と分泌停止をもたらすと報告が多い<sup>10)</sup>が、最近の研究では搾乳間隔が16-20時間を越えない限り乳汁分泌は抑制されないという報告<sup>5,15)</sup>もあり、一致した見解が得られていない。この不一致の理由について、Elliott and Brumby<sup>9)</sup>は2つの要因、すなわち、搾乳時間の終わりに搾り残された残乳 (residual milk) の存在と、搾乳間隔が12時間以上の場合、次の搾乳間隔の乳汁分泌率に与える不利な影響<sup>6)</sup>をあげているが、この点についても未だ不明の点が多く残されている。

著者らは先に乳頭カニューレ、圧力変換器及び自動記録計からなる感度のよい圧力測定装置を作成し、これらの計器を乳牛の乳房内圧測定に応用して、内圧の経時的変動が正確に計測できることを前報<sup>8)</sup>で報告した。

本研究は、これまで乳牛で実施してきた種々の条件下の乳房内圧と乳汁分泌量に関する一連の実験記録に基づいて、搾乳後の経過時間、乳房内圧及び乳汁分泌率の間の相互関係を明らかにするために実施したものである。

## 材料及び方法

本研究に用いた乳房内圧と搾乳量の記録は、本学農学部附属農場に繋養中のホルスタイン種雌牛延べ7頭について、1974年12月から1975年2月まで及び1976年1月から2月まで2回実施した実験の840回の乳房内圧測定結果と210回の搾乳量測定結果を取り纏めたものである。供試牛の産次は初産から6産までで、1頭を除いて、いずれも泌乳初期の牛であった。期間中の平均産乳日量は8-20kgの範囲にあり、個体によりかなり違っていた。なお、供試牛のうち1頭は初産と2産目、他の1頭は2産と3産目にそれぞれ2回供試された。

乳房内圧の測定方法は前報<sup>8)</sup>に示した通りである。第1回の実験成績を検討した結果、前位と後位の左右分房間に内圧の違いがほとんどみられなかったので、第2回の実験ではカニューレ挿入の影響を軽減するため、前後の乳房とも右側分房に限定して内圧測定を実施した。

搾乳間隔は2時間から24時間までの12段階とした。第1回の実験では同一搾乳間隔に対して連続3日、1日1回の測定を実施したが、測定分房の選定の場合と同様の理由から、第2回目の実験では連続2日、1日1回の測定に変更した。また、残乳の持ち越し効果の影響を除くため、直前の搾乳間隔が12時間を越えないように、搾乳間隔の設定には実験計画上十分考慮した。本実験では、残乳の除去については、オキシトシン投与のような特別な処置は一切行わず、ミルカーによる搾乳後の十分な手搾りだけに止め、日常の管理と同一条件下で搾乳を実施した。

搾乳した乳から乳成分測定のためのサンプルを抽出し、乳脂率と無脂固形分率を求めた。測定した乳房内圧の乳汁分泌量に対する回帰を求めるために、Snedecor<sup>12)</sup>の重回帰法を導入し、回帰方程式を算出した。

### 結果及び考察

乳房内圧の変化：Table 1には、種々の搾乳間隔で測定した搾乳直前及び直後の内圧の平均を、またFig.1には、前後の分房別内圧とその合計内圧の搾乳後の経過時間による推移を示した。搾乳直後の内圧は前位分房8.58-11.82mm Hg(平均9.85mm Hg)後位分房7.63-10.02mm Hg(平均9.01mm Hg)を示した。前後の分房間には差が認められず、後位分房では、搾乳間隔の長短に関係なく、乳房内圧は搾乳直後には12mm Hg以下に低下したが、前位分房では、搾乳間隔間に違いがあり、22時間間隔の内圧(11.82mmHg)と10時間及び14時間間隔の内圧(8.58と8.62mm Hg)との間には有意差が認められた。このように、搾乳間隔が長くなると残乳量が増加し、搾乳直後の内圧を高くすると考えられたが、後位分房でもそのような傾向は認められたものの、その差は有意ではなかった。

搾乳間隔が2時間から24時間までの搾乳直前内圧値の傾向は、Fig. 1に明らかのように、搾乳間隔が長くなるにつれて、両分房とも18時間まで上昇し、その後低下した。最高内圧を示す18時間間隔の内圧は、前位分房50.38mm Hg、後位分房62.35mm Hgで、前後分房の内圧比は45:55であった。搾乳直後から4時間後までの内圧は両分房とも上昇率が高かった。18時間後まで内圧は増大するが上昇率は低下した。両分房とも、12時間と18時間の内圧差は有意であった。18時間と24時間の内圧差もまた有意であった。搾乳間隔が18時間を越えると、ほとんどの牛で

Table 1 Intramammary pressures in the fore and rear quarters of the right udder just before and after milkings of the cows milked at different intervals.

Milking intervals (hour)	No. of measurements	Intramammary pressure (mm Hg)			
		Just before milking		Just after milking	
		Right fore	Right rear	Right fore	Right rear
2	18	15.45 a	19.38 a	9.77 ab	9.10
4	18	22.39 ab	30.31 b	9.49 ab	9.88
6	16	27.34 bc	36.48 bc	9.29 ab	8.56
8	18	31.80 cd	42.60 cd	9.29 ab	9.24
10	17	36.61 de	47.89 de	8.58 a	7.80
12	18	40.49 ef	52.77 ef	9.35 ab	8.39
14	18	44.48 fgh	55.86 efg	8.62 a	7.63
16	18	46.02 fgh	58.25 fg	10.53 ab	9.88
18	18	50.38 h	62.35 g	9.66 ab	8.31
20	16	49.57 h	58.83 fg	10.62 ab	9.57
22	17	48.54 gh	56.81 efg	11.82 b	9.77
24	18	41.25 efg	51.56 def	11.29 ab	10.02

Value is the average of 16-18 measurements in seven lactating cows.

Values not followed by the same letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) within same quarter.

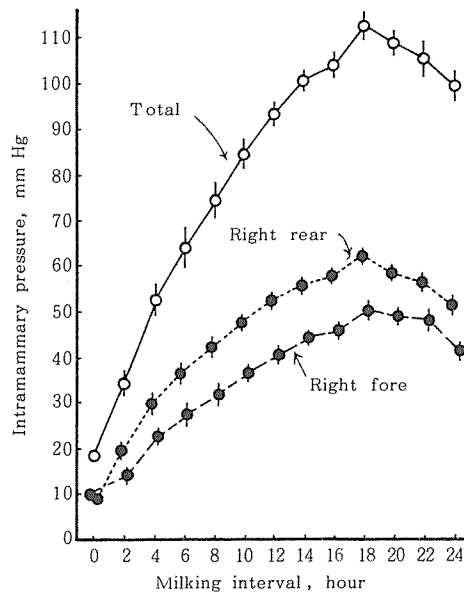


Fig. 1 Change of intramammary pressures in fore, rear and both quarters of the right udder with increasing milking interval up to 24 hours in 7 cows. Each point and its vertical line represent the mean and standard error of the mean, respectively, from 16-18 measurements with 7 cows.

乳頭からの乳汁漏れが観察されたので、18時間以後の内圧低下は、内圧がピークに達して、乳汁が乳房外へ排出された結果によると推論された。乳房内圧の搾乳間隔による増減傾向は、どの個体においても類似していたが、内圧値そのものにはかなりの変異がみられた。泌乳初期に産乳日量が多く、内圧の高い牛もいれば、産乳日量は比較的少ないが、内圧は高い牛も存在した。これらの事実は、乳房内圧を高める最も重要な要因として乳汁分泌量があげられるが、乳房容積、乳頭・乳槽内部の組織緊張度のような他の要因にも関係があることを示唆するものと考えられた。

搾乳後の経過時間、乳房内圧及び乳汁分泌率間の相互関係：種々の搾乳間隔の前後分房合計内圧、乳量及び乳汁分泌率を Table 2 に、また搾乳後の時間経過に伴う乳量と乳汁分泌率の変動を Fig. 2 に示した。

2時間から4時間までの搾乳間隔では、乳量は直線的に増加し、16時間では停滞したが、18-20時間まで増加し、その後減少した。搾乳間隔が18-22時間のときの乳量は2-10時間の乳量に対して有意に大きかった。また、この搾乳量の増減傾向は乳房内圧と類似した経過をたどった。乳房は弾力性を持つ腺組織であり、その生理的限界に達するまで拡張すると考えられるから、乳房の乳汁収容力は乳汁の蓄積量によって変わり、正確な収容能力を明らかにすることは困難である。しかし、搾乳間隔が18時間以上の場合に搾乳によって排出される乳量は、乳汁の分泌能力と乳房の収容能力の両方を示す尺度であると考えられる。搾乳直後に始まる乳汁の乳房内蓄積量の増加とともに内圧は増加するから、乳房内における乳汁分泌量が乳房内圧上昇の最大要因であると考えられ、このことは、前後分房間の内圧差、午前・午後の搾乳時の内圧差、泌乳最盛期以後の内圧下降などからも示唆される。Tucker ら<sup>19)</sup>も搾乳後みられる乳房内圧の増加は乳房内に蓄積される乳量増加によると述べている。

Table 2 Effects of milking intervals on the total intramammary pressure in the udder, milk yield and average milk secretion rate.

Milking intervals (hour)	No. of measurement	Intra-mammary pressure (mm Hg)	Milk yield (kg)	Average milk secretion rate (kg/hour)
2	18	34.84 a	1.16 a	0.5419 ab
4	18	52.70 b	2.52 ab	0.6292 ab
6	16	63.82 bc	3.65 ab	0.6070 ab
8	18	74.40 cd	5.08 bc	0.6428 b
10	17	84.49 de	6.71 cd	0.6622 b
12	18	93.26 efg	8.16 de	0.6807 b
14	18	100.34 fgh	9.31 de	0.6580 b
16	18	104.27 fgh	9.33 de	0.5819 ab
18	18	112.73 h	10.91 e	0.5996 ab
20	16	108.40 gh	10.96 e	0.5448 ab
22	17	105.35 fgh	10.14 e	0.4554 ab
24	18	92.81 ef	9.02 de	0.3762 a

Pressure value is the total of fore and rear quarters of the right udder. Average milk secretion rate represents the average of all the secretion rates up to a given time.

Values not followed by the same letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

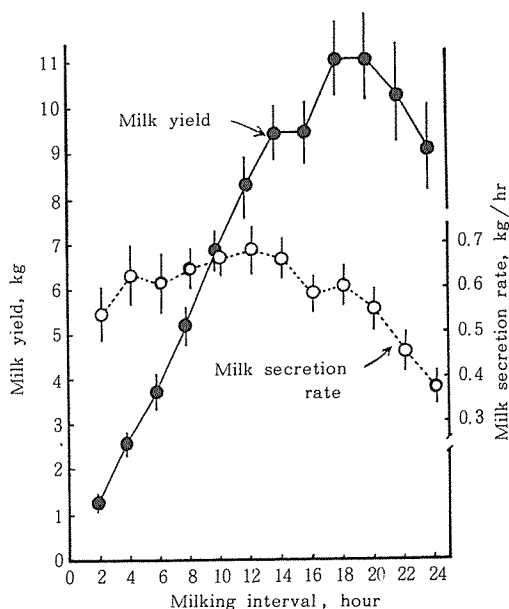


Fig. 2 Changes of the milk yields and average milk secretion rates with increasing milking interval in seven lactating dairy cows. Average milk secretion rate represents the average of all the secretion rates up to a given time. Each point and its vertical line represent the mean and standard error of the mean, respectively, from 16-18 measurements.

Table 3 Relationship between intramammary pressure and the milk yield secreted.

Level of milk yield (kg)	Average milk yield (kg)	No. of measurements	Intra-mammary pressure (mm Hg)
0 - 0.9	0.62	10	29.20 a
1.0- 1.9	1.46	16	42.56 ab
2.0- 2.9	2.33	6	55.33 bc
3.0- 3.9	3.39	21	66.38 cd
4.0- 4.9	4.39	20	83.35 de
5.0- 5.9	5.49	18	90.61 efg
6.0- 6.9	6.33	12	84.75 def
7.0- 7.9	7.35	22	88.55 efg
8.0- 8.9	8.55	13	99.69 efgh
9.0- 9.9	9.34	16	104.38 efgh
10.0-10.9	10.34	10	97.10 efgh
11.0-11.9	11.54	11	98.18 efgh
12.0-12.9	12.39	9	106.11 fgh
13.0-13.9	13.55	6	108.50 gh
14.0 and over	14.88	20	116.65 h

Values not followed by the same letter are significantly different ( $P < 0.05$ ).

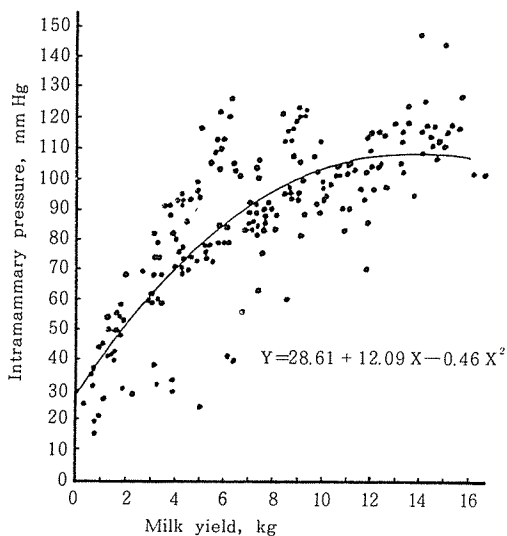


Fig. 3 Regression curve of intramammary pressure on the milk yield secreted. Each dot represents one measurement. Y, intramammary pressure; X, milk yield secreted.

乳汁分泌率の変化については、Fig. 2 と Table 2 から明らかなように、2-6時間間隔に比べて、8-14時間間隔ではやや増加したが、その後間隔が長くなるにつれて低下し、24時間間隔では8-14時間の場合より顕著に低下した。Schmidt<sup>11)</sup>は4, 8, 16, 20時間の搾乳間隔を設定して乳汁分泌率を求め、16時間と20時間間隔では他の間隔と比較して有意に低下したと報告している。

Table 2 の平均乳汁分泌率はその時間までの全分泌率の平均を示すものであって、その時点の真の分泌率を示すものではない。真の分泌率は瞬間的分泌率 (instantaneous rate) とよばれ、経過時間の増加によって平均分泌率より大きく変動する。本研究における瞬間的分泌率は Fig. 2 に示す乳量の経時的変動から推定できる。Tucker ら<sup>13)</sup>、Bailey ら<sup>11)</sup>、Donker ら<sup>2)</sup>は平均乳汁分泌率が搾乳時間の増加とともに減少すると報告している。Koshi and Petersen<sup>7)</sup>は午前5時と午後3時の不等間隔搾乳を継続するとき、夕乳の方が乳汁分泌率は大きいこと、及び乳汁分泌率は搾乳直後に最大となり、その後の時間経過と乳房内圧上昇に比例して低下すると述べている。また、Donker and Dalton<sup>3)</sup>は、長短の搾乳間隔が交互に繰り返されるときの分泌率を、単に搾乳間の乳量と時間に基づいて推定するのは正確ではないと述べ、Turner<sup>15)</sup>はその理由として、短い搾乳間隔より長い間隔の直後には残乳が多くなることをあげている。Tucker ら<sup>13)</sup>は、乳汁分泌率と内圧の関係式を算出して、供試牛群の理論的乳房容積を求めている。それによると、彼らは、搾乳間隔の増加とともに乳量は曲線的に増加し、理論的には搾乳後35時間で乳汁分泌は停止すると推論している。

個々の搾乳によって得られた乳量と搾乳直前の内圧 (前位分房と後位分房の和) の測定記録を1 kgごとに乳量区分で示すと Table 3 の通りであった。また、これらの

乳量と乳房内圧の関係をプロットしたのが Fig. 3 である。この図から明らかなように、乳量と乳房内圧との関係は直線の関係ではない。乳量の増加につれて乳房内圧は増加するが、その増加率は乳量の増加によって減少することを示している。重回帰法<sup>12)</sup>によって、乳房内圧の乳量に対する回帰を計算すると、Fig. 3 に示すような曲線となり、回帰方程式は次の通りであった。

$$Y = 28.61 + 12.09X - 0.46X^2$$

但し Y は乳房内圧、X は搾乳量

以上のことから、乳量、乳房内圧、瞬間的乳汁分泌率の3者間には、次のような相互の関係があると推定される。搾乳直後または搾乳後短時間に乳汁分泌のための刺激は最大になり、内圧による抑制効果がないため、乳汁分泌率は最高となる。その後、乳汁が腺胞腔、及び乳腺管内に蓄積されてくると、乳房内圧は増加し始める。この内圧が低い間は、乳汁分泌に対する抑制効果は無視され、乳汁分泌量は増加し続ける。乳房内蓄積乳量の増加は乳房内圧の増大を誘起し、乳房内に乳汁を保持する余裕がある限り、乳汁の分泌は長く継続するものである。貯乳能力が限界に達するとき、内圧は乳汁分泌を停止させると考えられる。

乳脂率及び無脂固形分率：乳脂率及び無脂固形分率に対する搾乳間隔の影響については Table 4 及び Fig. 4 に示す通りであった。乳脂率は搾乳後 2-4 時間で有意に高く、搾乳間隔が長くなると低下した。Bailey ら<sup>1)</sup>及び Donker ら<sup>2)</sup>は、乳脂分泌率は搾乳間隔の増加につれて低下すると報告している。Koshi and Petersen<sup>7)</sup>は不等間隔搾乳を実施して、短い間隔で得られる乳中の脂肪含量は長い間隔で得られるときより高いと報告し、Turner<sup>15)</sup>は、一般に残乳は長い間隔に多く、長い間隔の残乳が短い間隔の乳中に持ち越されて排出されるから、短い間隔の乳脂率が高くなると説明している。一方、無脂固形分率も短い搾乳間隔において高く、24 時間のような長い間隔で搾乳した乳では低くなる傾向がある。24 時間

Table 4 Effects of milking intervals on the milk fat and solids-not-fat content in milk.

Milking intervals (hour)	No. of measurement	Milk fat (%)	Milk solids-not-fat (%)
2	18	4.37 d	8.57 e
4	18	3.79 cd	8.54 e
6	15	3.22 abc	8.50 cde
8	17	3.30 bc	8.59 e
10	16	3.16 abc	8.51 de
12	18	3.08 abc	8.41 bcde
14	17	2.58 ab	8.39 bcde
16	17	2.73 ab	8.29 abcde
18	18	2.44 a	8.08 abcd
20	16	2.46 a	8.00 ab
22	17	2.96 abc	8.06 abc
24	18	3.03 abc	7.85 a

Values not followed by the same letters are significantly different (P<0.05).

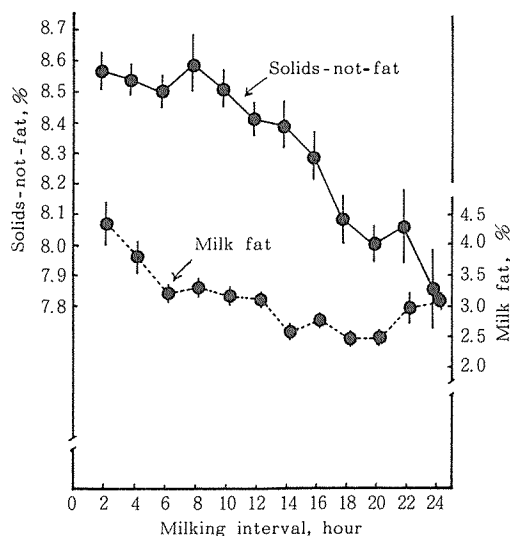


Fig. 4 Effects of milking intervals on the milk fat and solids-not-fat contents. Each point and its vertical line represent the mean and standard error of the mean, respectively, from 15-18 measurements.

間隔の無脂固形分率は14時間以下の間隔のそれより有意に低い値を示した。Schmidt<sup>11)</sup>は、乳脂と無脂固形分の分泌率は12時間以下の間隔については等しいが、20時間及び16時間間隔では4、8、12時間間隔に対して有意に低いと報告している。彼はオキシトシンによって残乳を排出させたが、4時間の搾乳間隔では乳脂率が有意に高く、さらに長い間隔ではほとんど差がなかったと述べている。無脂固形分率については、搾乳間隔の違いによってほとんど差を示さないという報告が多い。

### 摘 要

本研究は2-24時間の種々の間隔で搾乳した乳牛の乳房内圧を測定し、これらの内圧と乳房内における乳汁分泌率との関係を明らかにするために実施した。実験には平均産乳日量が9-21kgの7頭のホルスタイン種雌牛を用いた。それぞれの搾乳間隔の終りに、高感度の圧力変換器と精巧な記録装置によって乳房内圧を測定した。それぞれの間隔で搾乳によって得られる乳量は乳房内において分泌された総乳量を表わすものとした。

搾乳直後の乳房内圧は12mm Hg以下であったが、搾乳間隔の増加とともに、18時間間隔まで内圧は増大した。搾乳量は増加したが、その増加率は搾乳間隔が増加するにつれて低下した。平均乳汁分泌率は8時間から14時間までの搾乳間隔で僅かに増加したが、その後は時間の経過に伴って低下した。種々の間隔の乳脂率はほぼ同じであったが、2時間と4時間の間隔では顕著な増加がみられた。無脂固形分率は16時間までの間隔ではほぼ同じであったが、24時間間隔で著しく低下した。乳房内圧はそれぞれの搾乳間隔で生産された乳量に関係があり、乳量の増加が内圧の上昇を誘起した。乳房内圧と分泌された乳量との関係は直線的な関係ではなかった。乳量の増大とともに、乳房内圧は漸近的に増加した。

以上の結果から、乳房内圧と乳汁分泌率は次のように相互に作用し合っているものと考えられる。すなわち、搾乳直後に乳汁分泌の刺激は最大となり、分泌率も最高となる。そして乳汁が乳房内に蓄積されてくるとともに内圧は増加し始め、内圧増大の結果として分泌率は抑制されるようになる。

### 引 用 文 献

- 1) Bailey, G.L., Clough, P.A. and F.H.Dodd (1954). Rate of milk secretion in dairy cattle in the intervals between consecutive milkings. *Nature*. 173 : 4400.
- 2) Donker, J.D., Koshi, J.H. and W.E.Petersen (1954). The effects of hourly milking with the aid of intravenous injections of oxytocin. *J. Dairy Sci.* 37 : 1261.
- 3) Donker, J.D., and H.L. Dalton (1955). A comparison of milk yields and estimated secretion rates when between milking intervals were varied. *J. Dairy Sci.* 38 : 618.
- 4) Donker, J.D., Dalton, H.L. and J.L.Carmon (1960). Lactation studies. II. Comparison of techniques to measure true milk and fat secretion rates in dairy cattle as applied to between-milking intervals of various lengths of time. *J. Dairy Sci.* 43 : 1287.
- 5) Elliott, G.M. and P. J. Brumby (1955). Rate of milk secretion with increasing interval between milking. *Nature* 176 : 35.
- 6) Elliott, G.M. (1959). The direct effect of milk accumulation in the udder of the dairy cow upon milk secretion rate. *Dairy Sci. Abstr.* 21 : 435.
- 7) Koshi, J.H. and W.E. Petersen (1954). The effect of length and interval between milkings on milk and butterfat production. *J. Dairy Sci.* 37 : 673.



- 8) 桑田 滋・岡本 悟・松尾昭雄 (1984). 乳牛における搾乳後の時間経過に伴う乳房内圧の変化. 佐賀大農彙57 : 71.
- 9) McMeekan, C.P. and P.J. Brumby (1956). Milk production and interval between milking. *Nature*. 178 : 799.
- 10) Ragsdale, A.C., Turner, C.W. and S. Brody (1924). The rate of milk secretion as affected by an accumulation of milk in the mammary gland. *J. Dairy Sci.* 7 : 249
- 11) Schmidt, G.H. (1960). Effect of milking intervals on the rate of milk and fat secretion. *J. Dairy Sci.* 43 : 213.
- 12) Snedecor, G.W. (1956). *Statistical Methods*, 5th ed. The Iowa State College Press, Ames.
- 13) Tucker, H.A., Reece, R.P. and R.E. Mather (1961). Udder capacity estimates as affected by rate of milk secretion and intramammary pressure. *J. Dairy Sci.* 44 : 1725.
- 14) Turner, H.G. (1955). The effect of unequal intervals between milkings upon milk production and diurnal variation in milk secretion. *Australian J. Agr. Research.* 6 : 530.
- 15) Turner, H.G. (1955). Changes in capacity of udder of the cow during the course of lactation. *Australian J. Agr. Research.* 6 : 145.