

超音波画像診断法による第四胃内カード形成状態の評価法

宮崎珠子 宮崎雅雄 安田 準 岡田啓司

岩手大 農学部 (〒020-8550 盛岡市上田3-18-8)

要約 哺乳子牛は、摂取した乳汁を第四胃で凝乳し、固体成分のカードと液体成分のホエーに分けて消化を行う特有の消化機構を有する。本報では、子牛の第四胃のカード形成を、超音波画像診断法を用いて、リアルタイムに評価する手技について報告する。プローブを正中線に沿って動かして第四胃の横断像を描出し、第四胃が最大に見えた部位でプローブを体側方向に動かし、左右両方の側面から第四胃の内容物について観察することで、カードは明瞭な輪郭を持つエコージェニックな画像として、ホエーはエコーフリーな画像として描出される。カードの有無を含めた形成状態を評価する最も適した時間は、明瞭な輪郭を持つ大きな一塊のカードが観察される哺乳後1～2時間が推奨される。超音波検査は非侵襲的であり、無麻酔での検査が可能のため、野外でも臨床応用できる利点がある。同じ凝乳する代用乳を哺乳した29頭の子牛について、第四胃のカード形成状況を調べたところ、29頭中8頭の子牛でカードが形成されず、凝乳する代用乳を哺乳してもカードを形成しない子牛が存在することを明らかにできた。以上のように、第四胃の超音波検査は、リアルタイムに哺乳子牛のカード形成を評価でき、カード形成牛と非形成牛の迅速なスクリーニングが可能になった。

——キーワード：第四胃，凝乳性，カード，哺乳子牛，超音波検査

産業動物臨床医誌 1(2): 54-61, 2010

哺乳子牛は、摂取した乳汁を第四胃において凝乳酵素キモシン (EC 3.4.23.4) や胃酸の作用により凝乳させることで消化を行う特有の消化機構を有する。この一連の消化過程において、乳汁成分は固体成分のカード (curd) と液体成分のホエー (whey) に分かれる。カードには乳汁中の主要なタンパク質であるカゼインと脂肪が含まれ、これは凝塊として第四胃に留まる。一方、ホエーは免疫グロブリンや β -ラクトグロブリンなどカゼイン以外の乳タンパク質、乳糖、ミネラルを含み、液体のまま速やかに小腸に移行するといわれている [1, 2, 3]。

今日まで、第四胃のカード形成は哺乳子牛の効率的な乳汁の消化および栄養素の吸収に重要であると考えられてきた。第四胃のカード形成は、カードを構成するタンパク質や脂質の十二指腸への流出率を緩徐にすること [4] や、同様に乾物、粗タンパク質、脂肪の第四胃から小腸への通過速度を緩徐にすること [5] が報告されている。また、JenkinsとEmmons [6] は、生後6週まで生乳を給与した子牛と比較して、凝乳しない処置を施した生乳を給与した子牛では、体重増加、飼料利用効率、および乾物の消化率が有意に低くなると報告している。Okadaら [7] は、生乳と代用乳をそれぞれ1日2回と6回哺乳した場合、代用乳を6回哺乳した子牛でカード

形成不良が認められ、消化率が低下する可能性を示唆した。またOkadaら [8] は、実験的に胃酸分泌を抑制した子牛でカード形成不良が認められ、対照群と比較して1日あたりの体重増加が少なかったと報告している。さらにカード形成は、初乳からの免疫グロブリンの吸収や γ -グルタミルトランスフェラーゼの吸収に重要であるという報告もある [9, 10]。

しかし一方で、第四胃のカード形成は哺乳子牛に生理的利点や病気に対する抵抗力をもたらさないという報告もある。凝乳する代用乳と凝乳阻害剤を添加した代用乳を給与した2群の比較で、乾物、タンパク質、脂質の消化率に有意な差が認められなかったことから、カード形成は代用乳の消化率に影響しない [11, 12]。カード形成の有無が哺乳子牛の体重増加、下痢発症率および乾物、有機物、粗タンパク質の消化率に影響しない [13] ことが報告されている。またConstableら [14] は、凝乳する生乳を飲ませた子牛の第四胃内pHは、凝乳しない代用乳を飲ませた子牛より低く、それが第四胃潰瘍の発生率を増加させる要因になると考えている。さらに興味深い知見として1991年に行われたアメリカの代用乳の品質調査によると、凝乳酵素キモシンを主成分とする子牛の第四胃液の抽出物レンネットを用いて凝乳試験を行った

ところ、調査した代用乳のうち僅か2.1%だけが、凝乳したという報告がある [15]。Okadaら [16] も、2004年から2005年に国内で販売された9種類の代用乳について調べ、1種類の代用乳しか凝乳しなかったと報告している。しかし、未だ国内外でこれらの凝乳しない代用乳を給与された子牛において、発育障害等の深刻な問題が生じたという報告はない。

近年Gregory [10] は、14頭の新生子牛から採取した胃液を初乳と混合した結果、6頭でカード形成が認められず、胃液にレンネットを加えることでカード形成が認められたことから、第四胃の凝乳活性が生まれつき低い子牛のいることを示唆した。この発見により、生体における第四胃のカード形成は、乳汁の凝乳性だけでなく、第四胃のpHやキモシンの分泌量をはじめとする生体側の凝乳能にも影響を受ける可能性が明らかになった。しかし過去の報告では、主に乳汁の凝乳性に基づいてカード形成群と非形成群に分類し、その上で生体の消化率や血液成分など様々な指標を比較している [4, 5, 9, 11, 12, 13, 17]。実際に乳汁を哺乳した子牛の第四胃におけるカード形成の有無を評価しながら研究を進めた報告はない。一部の報告では哺乳後に剖検を行い、第四胃のカード形成の有無を直接確認していた [4, 5, 9, 11, 12] が、剖検はその時点の第四胃および生体の状態を確認するにすぎない。そのためカード形成の有無が体重増加や抗病性に与える影響を調べる長期間にわたる試験や、栄養素や免疫抗体の吸収効率に与える影響を調べる経時的な実験などには応用できない。また新生子牛の第四胃にカテーテルを外科的に装着し、第四胃内容物の採取 [18] や連続した胃内pHの測定 [19] を行った報告や、経口補液剤のカード形成への影響を調べた報告 [20] がある。しかし、カテーテル装着が第四胃運動などに及ぼす影響を考えると生理的なカード形成の観察とは言い難く、また実験子牛に限定した手法であり、一般の牧場で飼育されている子牛には応用できないという問題点がある。

以上の背景から、子牛の第四胃におけるカード形成の生理的意義を明らかにするためには、乳汁を哺乳した子牛の第四胃におけるカード形成を、非侵襲的な方法でリアルタイムに評価する手技が有効であると考えられる。また、カード非形成牛をスクリーニングし、カード形成群とカード非形成群の生体が示す種々の指標を比較することにより、未だ論争があるカード形成の生理的意義を解明する糸口を得ることが期待できる。そこで本報では、超音波画像診断法を用いたカード形成の評価法と、その手技を応用した野外試験から得られた知見について総説する。

1. 哺乳子牛の第四胃内カードの超音波画像

第四胃に流入した乳汁は、固体であるカードと液体であるホエーに分かれる。第四胃の乳汁が、この物性の異なる固体と液体に分離する様相を何らかの方法で画像化することができれば、生体でのカード形成を外科的処置や解剖など行わなくても、非侵襲的かつ迅速に評価することが可能になる。各種画像診断法のうち、子牛の第四胃における生理的なカード形成の観察には、装置が比較的小型で携帯可能な超音波画像診断法が、野外試験にも用いることが出来るため、最も優れていると考えられた。牛の消化管に対する超音波画像診断法は、成牛の第四胃の位置、状態および面積を測定した報告 [21] や、哺乳子牛の第四胃の体積、位置、胃排出速度を測定した報告 [22] があるが、第四胃内のカードを画像化した報告はない。そこで、以下の試験を経て、超音波画像診断法を用いた子牛の第四胃内カード形成状態の評価法を確立した。

(1) 超音波検査：まず子牛の腹底にプローブを正中線に直交するように当て (図1A)、胸骨剣状突起から陰茎まで、正中線に沿ってプローブを動かして横断像を描出しながら、心臓、肺、肝臓、第四胃、腸管等の位置を確認する。次に第四胃の横断面が最大に見えた部位で、プローブを体側方向に動かし、左右両方の側面から第四胃の胃壁および内容物について観察する (図1B)。

(2) 断層解剖像：第四胃の詳細な位置および内容物を確認し、第四胃の超音波画像と照合するために、子牛の腹部横断断層解剖標本を作成した。第四胃は、頭側では腹底の中央に、尾側では小腸が存在するため左側に移動した。第四胃の周辺臓器は、頭側では左側に第一胃、背側に第二胃と第三胃、右側に肝臓が認められ、尾側に行くに従い小腸が背側および右側の広範囲に接することが観察された。第四胃の詳細な肉眼所見については、胃壁の外側は周辺臓器と接し、内側には複数のヒダが内腔に突き出している様子が認められた。また第四胃内には、

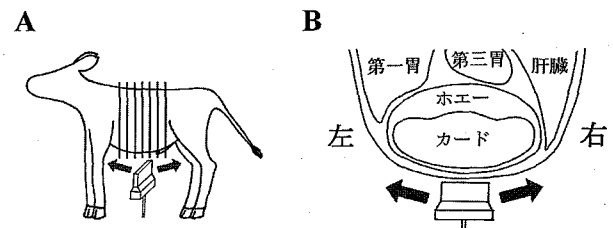


図1. 超音波検査におけるプローブ位置と腹部横断断層解剖標本切断部位の模式図

A：第四胃の超音波検査におけるプローブの位置と腹部横断断層解剖標本作成時の切断部位。B：第四胃の超音波検査において静止画像を撮影するためのプローブの位置。矢印はプローブの移動方向を示す。

白色のカードと赤みを帯びた乳白色のホエーが存在し、カードは頭側では全体の約1/3を占め、尾側に行くに従い小さくなることが認められた。カードは、第四胃の胃底部に存在し、胸骨剣状突起から臍帯部にかけての正中線沿いにあることが明らかになった。第四胃およびカードは、剣状突起から約10cm尾側の、第四胃と肝臓が接する所で最大に観察された。

(3) 第四胃の超音波画像と断層解剖像：第四胃の超音波画像とそれに対応する腹部横断断層解剖像を図2に示した。図2Aに示したように第四胃の内容物は、超音波画像診断装置により明瞭な輪郭をもつエコージェニック部分と、その上部を被うエコーフリー部分として画像化することができる。この超音波画像を腹部横断断層解剖像(図2B)と照合することで、エコージェニック部分がカード、エコーフリー部分がホエーに相当することが分かった。また第四胃壁およびヒダが、エコージェニックな線状陰影として、隣接する肝臓が均一なエコージェニックな画像として超音波画像に描出されることも分かった(図2AとB、矢印とLi)。

以上のように、第四胃の超音波検査により、カードは明瞭な輪郭をもつエコージェニックな部分として、ホエーはエコーフリーな部分として、第四胃壁を示す線状陰影の内部に描出されることが明らかになり、超音波画像診断法が子牛の第四胃内カード形成状態の評価に有効であることが明らかになった [23]。

2. カード形成を評価する最適な時間の決定

子牛のカード形成状態を観察する際に、超音波検査を複数回実施することは非常に手間と時間がかかり、また評価する頭数も限られる。超音波検査を哺乳後に経時的に行い、カード形成状態の経時変化を観察し、哺乳後の一回の検査でカードの有無を評価する最適な時間を決定できれば、農場などで多頭飼育されている子牛のカード形成を評価することが可能になる。そこで3種類の凝

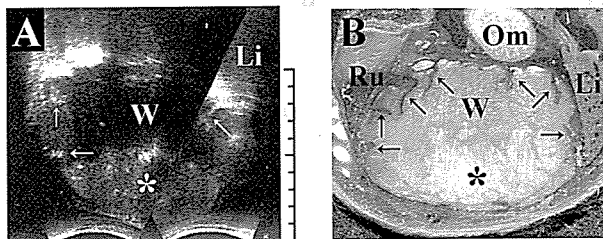


図2. 第四胃の超音波画像と断層解剖像

A：第四胃の超音波画像。B：超音波画像に対応する断層解剖像。写真の上下左右は子牛の背腹左右に対応する。*はカード、Wはホエー、Liは肝臓、Ruは第一胃、Omは第三胃、→は第四胃壁ヒダを示す。

乳性のことなる代用乳を哺乳した子牛で、超音波検査により、第四胃内容物の経時変化を観察し、カード形成を評価する最適な時間を決定した。

(1) 代用乳の凝乳性：3種類の代用乳A、B、Cについて、試験管内レンネット添加凝乳試験を行った。第四胃内pHの哺乳後変化の報告 [19] を参考に、代用乳を溶解したままのpH 6.5と、哺乳後2時間の第四胃pH 5.5の2点で行った。表1は各代用乳の0.5時間から2時間までの凝乳性を示す。代用乳Aは、両pHで0.5時間以内に凝乳した。一方、代用乳Bは、両pHでも2時間までに凝乳が認められなかった。代用乳Cは、pH 6.5では2時間までに凝乳は認められなかったが、pH 5.5では1.5から2時間の間に凝乳した。よって本試験では、代用乳Aを凝乳する代用乳、代用乳Bを凝乳しない代用乳、代用乳CをpHにより凝乳性が変わる代用乳として用いた。

(2) 凝乳する代用乳Aを哺乳した子牛の第四胃の超音波画像：凝乳する代用乳Aを哺乳した子牛5頭では、全頭で共通した超音波画像が得られた。すなわち、代用乳Aは、哺乳後直ちに第四胃に流入し、哺乳後0.5時間には小さいカードが第四胃内に浮遊し、哺乳後1～2時間には一つの大きなカードの塊が胃底部に存在し、哺乳後4時間にはカードが小さくなり、哺乳後6時間には不明瞭になることが認められた。代表的な1頭の哺乳後1時間の第四胃の超音波画像を図3Aに示した。超音波画像には、一つの明瞭な輪郭をもつエコージェニックな部分が第四胃の胃底部に、またその上部にエコーフリーな部分が観察された。哺乳後1～2時間の超音波画像はほぼ同じであり、凝乳する代用乳Aは哺乳後1～2時間に第四胃内でひとかたまりのカードを形成した。

(3) 凝乳しない代用乳Bを哺乳した子牛の第四胃の超音波画像：凝乳しない代用乳Bを哺乳した子牛4頭では、全頭で共通した超音波画像が得られた。すなわち、哺乳直後、第四胃内に流入した代用乳Bはエコーフリーな画像として描出された。その後、哺乳後1時間まで、超音波画像は徐々にエコージェニックな画像となり、哺

表1. 代用乳の凝乳性

代用乳	pH	時間			
		0.5	1	1.5	2
A	6.5	+	+	+	+
	5.5	+	+	+	+
B	6.5	-	-	-	-
	5.5	-	-	-	-
C	6.5	-	-	-	-
	5.5	-	-	-	+

+：篩上に試験管の形をしたカードが残り、透明の液体が濾過された場合

-：篩上にカードが残らず、白色の液体が濾過された場合

乳後4時間まで第四胃全体がエコージェニックな画像が観察された。また哺乳後6時間の画像では、4時間の画像に比べ、第四胃内容物のエコー輝度が減少してエコーフリーとなる傾向が認められた。これらの画像から、哺乳直後から第四胃に内容物が存在する様子が観察されたが、検査期間中に、カードに相当する明瞭な輪郭をもつエコージェニックな画像は観察されなかった。代表的な1頭の哺乳後1時間の第四胃の超音波画像を図3Bに示した。超音波画像は、全体的にエコージェニックで、内容物は存在するがカードは形成されていない様子が観察された。

(4) pHにより凝乳性が変化する代用乳Cを哺乳した子牛の第四胃の超音波画像：試験管内レンネット添加凝乳試験において、pHにより凝乳性が変化する代用乳Cを哺乳した子牛6頭では、全頭で共通した超音波画像が得られた。すなわち哺乳直後、第四胃内容物は腹側ではエコージェニックに、背側ではエコーフリーに描出された。哺乳後0.5時間では、複数の小さいエコージェニックな部分が第四胃の腹側に観察され、背側にはエコーフ

リーな画像が観察された。それ以降、哺乳後6時間までの超音波画像は哺乳後0.5時間と同様であった。代表的な1頭の哺乳後1時間の第四胃の超音波画像を図3Cに示した。超音波画像には、複数の小さいカードが第四胃内に存在するが、凝乳する代用乳Aを哺乳した子牛で認められたひとつかたまりの大きなカードは観察されなかった。

本試験では、凝乳性の異なる3種類の代用乳を用いて、哺乳直後から哺乳後6時間まで経時的に第四胃の超音波検査を実施した。その結果、凝乳する代用乳Aを哺乳した子牛において、一つの大きなカードが観察された時間は、哺乳後1～2時間であった。キモシンの至適pHは、5.3から6.3であり [24]、第四胃の胃内pHは、哺乳前のpH 14から哺乳後3分でpH 6.0まで上がり、哺乳後1～2時間はpH 5.5から6.0に留まり、その後6～7時間まで徐々に減少し、食前の値に戻る [19] ため、哺乳後1～2時間の第四胃の胃内pHは、キモシンによる乳汁の凝乳に適している。すなわちカードは哺乳後1～2時間までに形成され、この時間に最も明瞭に観察されることが明らかになった。一方、凝乳しない代用乳Bを哺乳した子牛では、哺乳後1～2時間の画像は、第四胃全体が均一なエコージェニックな画像で、凝乳する代用乳Aを哺乳した子牛で観察された画像とは、明確に識別できた。凝乳する代用乳と凝乳阻害剤を添加した代用乳を哺乳した子牛を比較した報告によると、第四胃内容量では哺乳後1時間 [5] に、また十二指腸流出率では哺乳後2時間 [4] に有意な差が認められたことから、哺乳後1～2時間に第四胃内でカードが形成されたか否かが最も顕著になる時間と考えられた。さらにpHにより凝乳性が変化する代用乳Cを哺乳した子牛では、哺乳後1～2時間の画像で、第四胃の腹側には複数の小さいエコージェニックな画像が、背側にはエコーフリーな画像が観察され、代用乳A、Bを哺乳した子牛で観察された画像とは、明確に識別できた。以上から、哺乳子牛の第四胃におけるカード形成を評価する最適な時間は、哺乳後1～2時間であることが明らかになった [23]。

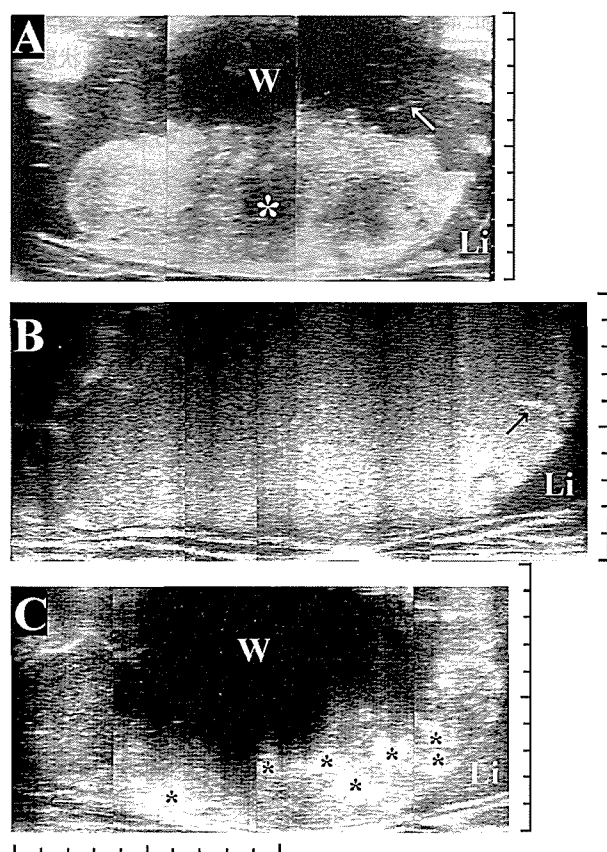


図3. 凝乳性の異なる3種類の代用乳哺乳後1時間の第四胃の超音波画像

A：凝乳する代用乳A，B：凝乳しない代用乳B，C：pHで凝乳性が変化する代用乳Cを哺乳した子牛の哺乳後1時間の第四胃の超音波画像。写真の上下左右は子牛の背腹左右に対応する。*はカード，Wはホエー，Liは肝臓，→は第四胃壁ヒダを示す。1目盛りは1 cmを示す。

3. 哺乳子牛の第四胃内カード形成の野外調査

子牛の哺乳期間における体重増加は著しく [25, 26]、この間の栄養源は主に生乳や代用乳である。これらの乳汁は、多くの場合、第四胃で凝乳してカードとホエーに分かれる。哺乳子牛の第四胃におけるカード形成は、乳汁から効率よく栄養素を吸収し、哺乳期の急激な成長を可能にする必要不可欠な消化機構であると考えられる。しかし既に述べたようにその重要性に関しては賛否両論あり、いまだ結論は得られていない。第四胃でカード

を形成する能力には個体差があることを示唆した報告 [10] から、同一の未処理の生乳や代用乳を哺乳した子牛でも、第四胃でカードを形成する子牛と形成しない子牛の存在する可能性がある。そこで、カードの有無が生体に及ぼす影響を検討するために、同じ代用乳を哺乳した29頭の子牛について、第四胃の超音波検査を実施し、カード形成牛と非形成牛に分類して、健康状態および血液成分の値について比較した結果から得られた知見について以下に記載する。

(1) 哺乳子牛の第四胃内カード形成：子牛29頭 (HF種子牛20頭, F1子牛9頭, 8.7 ± 3.3 日齢, 出生体重 41.2 ± 5.3 kg, 平均 \pm 標準偏差) に凝乳性のある代用乳を哺乳させ、哺乳後2時間に第四胃の超音波検査を行った。20頭 (HF種子牛13頭, F1子牛7頭) では一つの大きなカードが第四胃内に描出され (表2A), HF種子牛1頭では、カードが観察された他の20頭に比較して明らかに小さい一つのカードが描出された (表2B)。一方、残りの8頭では、カードに相当する明瞭な輪郭をもつエコージェニックな画像は描出されなかった。その内訳は、5頭 (HF種子牛4頭, F1子牛1頭) で第四胃の内容物はエコーフリーの液体画像の中にエコージェニックな細かい点描陰影が浮遊する画像 (表2C), 3頭 (HF種子牛2頭, F1子牛1頭) で第四胃全体がエコージェニックな画像 (表2D) であった。

哺乳後2時間の第四胃の超音波画像にカードが観察されなかった8頭の子牛について、その後のカード形成状

態を確認するために、哺乳後7時間まで第四胃の超音波検査を行った。それらのうち5頭では、哺乳後4時間および7時間の第四胃の超音波画像は、哺乳後2時間と同様に、エコーフリーな液体画像にエコージェニックな細かい点描陰影が観察され、カードに相当する画像は観察されなかった。また、3頭でも、哺乳後4時間および7時間の第四胃の超音波画像は、哺乳後2時間と同様であり、カードに相当する画像は観察されなかった。よってこの8頭をカード非形成牛と判断した。

以上から、同じ凝乳性を有する代用乳を哺乳しても、カードを形成できない子牛がいることが明らかになり、それは超音波検査で容易に発見できることが明らかになった。

(2) カード形成牛と非形成牛の健康状態：カード形成牛と非形成牛の健康状態を表3に示した。カード形成牛21頭とカード非形成牛8頭中7頭は、外見上健康で、給与した代用乳を全て速やかに哺乳し、元気よく活動していた。カード非形成牛1頭は、眼球がやや陥凹しており、代用乳を哺乳する速度が遅く、歩くよりは伏臥していることが多かった。健康状態に問題が認められたカード非形成牛は、正常なカード形成が出来なくなった結果、健康状態が悪化した可能性と、何らかの理由で健康状態が悪化して、その結果として、カードを形成しなくなった可能性が考えられた。しかし、他の7頭のカード非形成子牛は健康状態に問題が認められなかったことから、カードを形成しないことが、必ずしも子牛の健康状態に影響を及ぼすとは限らないことが明らかになった。

(3) カード形成牛と非形成牛の血液生化学検査：カード形成牛 (カード形成群) およびカード非形成牛 (カード非形成群) における哺乳前後の中性脂肪 (TG), 血液尿素窒素 (BUN), 血糖 (Glu) の平均値 \pm 標準誤差を、図4のA, B, Cに示した。これらの値は、代用乳から吸収される栄養素のうち、カード形成の影響を受ける可能性が高い成分として考えられる脂質, タンパク質, 糖の吸収の指標として用いた。品種による違いを排除するために、HF種子牛のデータだけを用いて、14頭のカードを形成した子牛と、6頭のカードを形成しなかった子牛の2群間の血中濃度を比較した。

TGとBUNは、有意な経時的変化はなく、また2群間にも有意な差は認められなかった。Gluはカード形成群

表2. 野外調査の第四胃の超音波画像と頭数

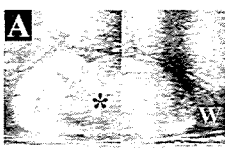
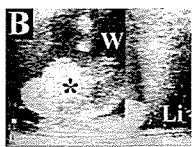
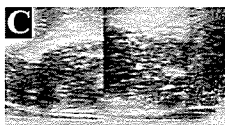
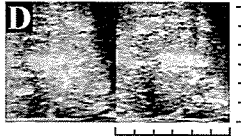
第四胃の超音波画像	頭数
 <p>明瞭な輪郭のエコージェニックなカード (*) とエコーフリーなホエー (W) を含む超音波画像</p>	20
 <p>明瞭な輪郭のエコージェニックなカード (*) を含むが、Aのカードと比較して、明らかに小さかった</p>	1
 <p>エコーフリーの液体画像にエコージェニックな細かい点描陰影が浮遊している画像で、カードに相当する画像は観察されなかった</p>	5
 <p>超音波画像全体が輪郭のないエコージェニックな画像であり、カードに相当する画像は観察されなかった</p>	3
合計	29

表3. カード形成牛と非形成牛の健康状態

区分	頭数	外見	食欲	元気
カード形成 (n=21)	21	+	+	+
カード非形成 (n=8)	7	+	+	+
	1	眼球やや陥凹	±	-

では、哺乳前に対し、哺乳後1時間 ($p<0.01$), 2時間 ($p<0.01$), 4時間 ($p<0.01$) および7時間 ($p<0.05$) に有意に高い値を示し、また哺乳後1時間に対し、哺乳後7時間に有意 ($p<0.05$) に低い値を示した。カード非形成群では、哺乳前に対し、哺乳後1時間 ($p<0.05$) と2時間 ($p<0.01$) に有意に高い値を示した。しかし、2群間に有意な差は認められなかった。

カード形成牛、非形成牛ともに既報の成績 [11, 27] と同様にGluが哺乳後増加したことが確認されたので、糖の吸収は問題なく行われていたことが示唆された。糖と脂質、窒素代謝物の吸収機構には相違があるものの、本試験子牛において乳汁からの脂質や窒素代謝物の吸収

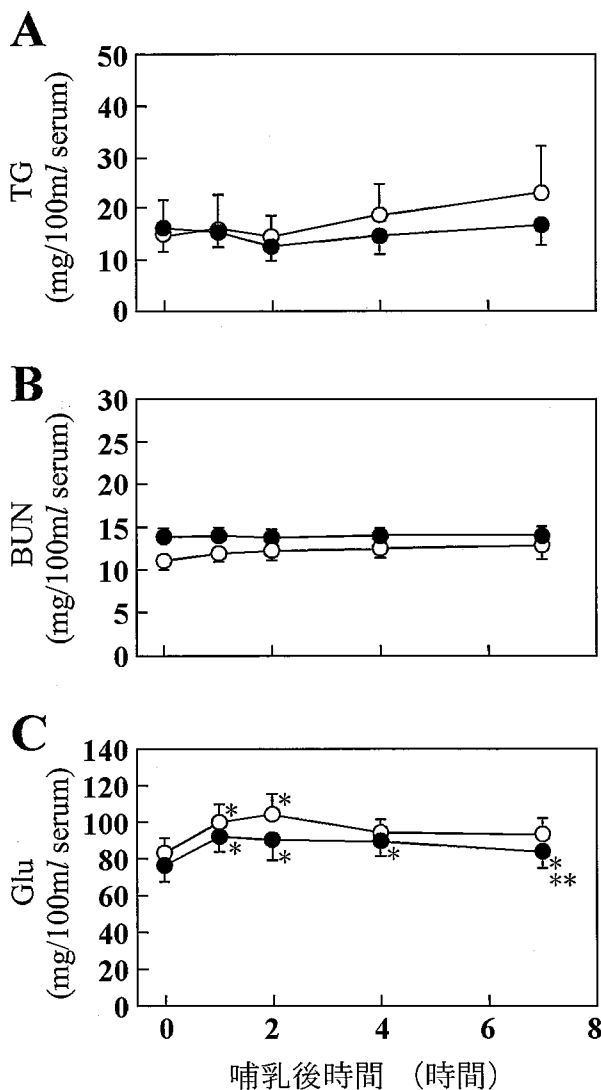


図4. 代用乳哺乳後の血液成分の変動

A: 血清トリグリセリド値 (TG), B: 血液尿素窒素値 (BUN), C: 血糖値 (Glu) の代用乳哺乳前後の変動を示す。縦軸は血中濃度 (mg/100ml serum), 横軸は哺乳後時間 (時間) を示す。●はカード形成群, ○はカード非形成群の平均値±標準誤差を示す。*は、哺乳前に対し有意に ($p<0.05$) 高い値を, **は哺乳後1時間に対し有意に ($p<0.05$) 低い値を示す。

が糖と同様に問題なく行われていたと仮定すると、カード形成と非形成による脂質と窒素代謝物の取り込みには、差の生じない可能性が示唆された。

(4) 子牛1頭の第四胃内カード形成の連続評価: カードを形成した子牛21頭の中に、カードの大きさが他の20頭に比較して明らかに小さい子牛が1頭いたので、この子牛について、翌日に再度第四胃の超音波検査を行った。第四胃の超音波画像は、初日に観察された明瞭な輪郭のエコージェニックなカードを含む画像に対し、翌日には哺乳後2, 4, 7時間のいずれの画像にも、カードに相当する明瞭な輪郭のエコージェニックな画像は全く観察されなかった。これより、同一牛が同一代用乳を哺乳しても、カードの形成状態が哺乳する度に異なる可能性が示唆された。今後カード形成の有無による生体への影響を調べるためには、凝乳する乳汁や代用乳を給与するだけでは不十分で、その都度第四胃のカード形成を確認する必要があると考えられた。

以上から、第四胃のカード形成能には個体差があり、同一の代用乳を哺乳しても、カードを形成する子牛と形成しない子牛が存在することが明らかになった。また第四胃におけるカード形成の有無は、哺乳子牛の外見、食欲、行動および血中TG, BUN, Gluには、直接関与しない可能性が示唆された [28]。

おわりに

第四胃のカード形成は、子牛が備え持つ哺乳期の重要な消化機構と考えられる。本来の母牛由来の生乳を哺乳した子牛は、当然カードを形成するものとされてきた。しかし第四胃の超音波検査でカード形成状態をリアルタイムに評価できるようになったことで、カードを形成していない子牛がいることを明らかにすることができた。本研究で確立した第四胃のカード形成の評価法を今後更に臨床応用していくことにより、新たな視点からカードの生理的意義を解明することが期待される。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、明治飼糧株式会社 水戸研究牧場の 小原嘉昭教授、折橋毅典氏、酒井清高氏、その他ここでは紙面上書ききれなかった多くの方々のご協力とご支援を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。また本研究の一部は、財団法人日本科学協会の笹川科学研究助成によって実施したものであり、ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

1. Hill KJ, et al. : Gastric digestive physiology of the calf and piglet, *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*, Phillipson A T ed, 166-179, Oriental Press, Newcastle-on-Tyne (1970)
2. Longenbach JL, Heinrichs AJ : A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves, *Anim Feed Sci Technol*, 73, 85-97 (1998)
3. Tomkins T, Jaster EH : Preruminant calf nutrition, *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 7, 557-576 (1991)
4. Petit HV, et al. : Duodenal flow of digesta in preruminant calves fed clotting or nonclotting milk replacer, *J Dairy Sci*, 70, 2570-2576 (1987)
5. Cruywagen CW, et al. : Casein curd-forming ability and abomasal retention of milk replacer components in young calves, *J Dairy Sci*, 73, 1578-1585 (1990)
6. Jenkins KJ, Emmons DB : Evidence for beneficial effect of chymosin-casein clots in abomasum on calf performance, *Nutr Rep Int*, 26, 635-643 (1982)
7. Okada K, et al. : The effect of frequent milk feeding on abomasal curd formation of Holstein calves, *Anim Sci J*, 81, 85-88 (2010)
8. Okada K, et al. : The effect of experimental inhibition of gastric acid secretion on curd formation in abomasum and weight gain of calves, *Anim Sci J*, 81, 89-93 (2009)
9. Cruywagen CW : Effect of curd forming of colostrum on absorption of immunoglobulin G in newborn calves, *J Dairy Sci*, 73, 3287-3290 (1990)
10. Gregory NG : Effect of enhancing curd formation during the first colostrum feed on absorption of gamma glutamyl transferase by newborn calves, *Aust Vet J*, 81, 549-552 (2003)
11. Petit HV, et al. : Digestibility and blood parameters in the preruminant calf fed a clotting or a nonclotting milk replacer, *J Anim Sci*, 66, 986-991 (1988)
12. Petit HV, et al. : Digestibility measured by fecal and ileal collection in preruminant calves fed a clotting or a nonclotting milk replacer, *J Dairy Sci*, 72, 123-128 (1989)
13. Cruywagen CW, Horn-Quass JG : Effect of curd suppression of a calf milk replacer fed at increasing levels on nutrient digestibility and body mass-gain, *South Afr J Anim Sci*, 21, 153-156 (1991)
14. Constable PD, et al. : Effect of suckling cow's milk or milk replacer on abomasal luminal pH in dairy calves, *J Vet Intern Med*, 19, 97-102 (2005)
15. Heinrichs AJ, et al. : A study of the use of milk replacers for dairy calves in the United States, *J Dairy Sci*, 78, 2831-2837 (1995)
16. Okada K, et al. : The evaluation of the curd forming ability of milk replacers, *Anim Sci J*, 80, 12-18 (2008)
17. Johnson RJ, Leibholz J : The flow of nutrients from the abomasum in calves fed on heat-treated milks, *Aust J Agric Res*, 27, 903-915 (1976)
18. Russell RW, et al. : Effects of pregastric esterase on utilization of whole milk by preruminant calves, *J Dairy Sci*, 63, 1114-1122 (1980)
19. Ahmed AF, et al. : Effect of orally administered cimetidine and ranitidine on abomasal luminal pH in clinically normal milk-fed calves, *Am J Vet Res*, 62, 1531-1538 (2001)
20. Constable PD, et al. : Comparative effects of two oral rehydration solutions on milk clotting, abomasal luminal pH, and abomasal emptying rate in suckling calves, *J Dairy Sci*, 92, 296-312 (2009)
21. Braun U, et al. : Ultrasonographic examination of the abomasum of 50 cows, *Vet Rec*, 140, 93-98 (1997)
22. Wittek T, et al. : Ultrasonographic measurement of abomasal volume, location, and emptying rate in calves, *Am J Vet Res*, 66, 537-544 (2005)
23. Miyazaki T, et al. : Ultrasonographic imaging of abomasal curd in preruminant calves, *Vet J*, 179, 109-116 (2009)
24. Foltmann B : Prochymosin and Chymosin (Prorennin and Rennin), *Meth Enzymol*, 19, 421-436 (1970)
25. Bourdon RM, Brinks JS : Genetic, environmental and phenotypic relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle, *J Anim Sci*, 55, 543-553 (1982)
26. Menchaca MA, et al. : Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes, *J Anim Sci*, 74, 2140-2151 (1996)
27. Nappert G, Lattimer JC : Comparison of abomasal emptying in neonatal calves with a nuclear scintigraphic procedure, *Can J Vet Res*, 65, 50-54 (2001)
28. Miyazaki T, et al. : No abomasal curd formation in pre-ruminant calves after ingestion of a clotting milk replacer, *Vet J*, 183, 205-209 (2010)

Real time evaluation of abomasal curd formation in preruminant calves by ultrasonography

T. Miyazaki, M. Miyazaki, J. Yasuda, K. Okada

Iwate University, Ueda 3-18-8, Morioka, Iwate, 020-8550, Japan

ABSTRACT In this review, we report real time imaging of abomasal curd formation in preruminant calves by ultrasonography. Ultrasonographic images of the abomasum and simultaneously obtained cross-sectional topographic images showed that the curd was visualised as an echogenic image with a clear outline and whey as an anechoic image. The time course ultrasonographic evaluation of curd formation indicated that the appropriate time for evaluating curd formation is between 1 and 2 h after feeding milk replacer, when a large curd could be imaged in calves fed clotting milk replacer. Ultrasonographic evaluation of curd formation in 29 preruminant calves that were fed a clotting milk replacer provided a new finding that the abomasal curd formation was absent in 8 of the 29 calves. Thus we propose that the ultrasonographic method for evaluating abomasal curd formation provides direct evidence of curd formation. It is a practical and non-invasive technique of distinguishing curd-forming and non-curd-forming calves, which would be useful in investigating the physiological function of curd formation in preruminant calves.

—Key Words : abomasum, clotting, curd, preruminant calf, ultrasonography

.....Jpn. J. Large Anim. Clin. 1(2): 54-61, 2010