

PGF_{2α} 투여에 의한 젖소의 발정동기화 처리시 발정발현 및 수태에 영향을 미치는 요인

김일화¹ · 김의형 · 서국현* · 강현구

충북대학교 수의과대학
*농촌진흥청 축산연구소

(게재승인: 2006년 12월 15일)

Factors Affecting Estrous Exhibition and Conception following a Single Administration of PGF_{2α} in Dairy Cows

Ill-Hwa Kim¹, Ui-Hyung Kim, Guk-Hyun Suh* and Hyun-Gu Kang

College of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

*National Livestock Research Institute, RDA

Abstract : This study determined the effects of several reproductive factors at prostaglandin F_{2α} (PGF_{2α}) administration on the subsequent estrous exhibition and conception. Three hundreds and twenty six dairy cows in seven dairy herds received a 25 mg PGF_{2α} after confirming the presence of corpus luteum (CL) by ultrasonography, and the cows exhibited estrus within 7 days following PGF_{2α} administration were artificially inseminated (AI). Two hundreds cows among the 326 cows received additional ultrasonography at PGF_{2α} administration to measure the diameters of the largest follicle and CL on ovaries, and blood samples collected from the cows were analyzed for serum progesterone (P4) level. Cow parity, days open, body condition score (BCS), season and herd variables were recorded. Of the treated 326 cows, 171 cows (52.5%) showed estrus within 7 days after treatment, and the conception rate following AI was 37.4% (64/171). There were significant differences on the estrous exhibition (31.3~65.8%, P<0.01) and conception rates (23.1~66.7%, P<0.05) among the herds, while cow parity, days open, BCS and season did not affect the subsequent estrous exhibition and conception rates. The diameters of the largest follicle and CL on ovaries, and serum P4 level at the PGF_{2α} administration were not related to the subsequent estrous exhibition and conception. The results indicate that the improved outcomes of synchronization of estrus using a single PGF_{2α} administration may be related to the appropriate management of the herd.

Key words : PGF_{2α}, estrous exhibition, conception, ultrasonography, serum P4 level.

서 론

젖소 사육에 있어서 개량의 가속화와 사양관리의 개선으로 산유량은 지속적으로 증가하고 있는 반면, 목장의 대규모화에 따른 개체관리의 미흡으로 인한 축군의 번식능력의 저하는 매우 심각한 경제적 손실을 초래하고 있다(3,5,10,20). 이상적인 소의 분만간격인 12~13개월의 분만간격을 유지하기 위해서는 분만 후 85~110일 경에 수태가 되어야 하며, 발정 발견과 수정 후 수태율이 번식간격에 중요한 영향을 미친다(16). 그러나 실제적으로 목장에서 소의 발정 관찰은 50% 정도로 보고되고 있다(15,16). 따라서 번식간격의 지연

을 방지하기 위하여 발정동기화 처리가 소에서 흔히 이용되고 있으며, 주로 prostaglandin F_{2α}(PGF_{2α}) 또는 CIDR와 같은 intravaginal progesterone-releasing device가 사용되고 있다(1,6,12). PGF_{2α} 제제의 사용은 사용이 간편하고 가격이 저렴하여 황체기 중의 소의 발정동기화를 위하여 흔히 사용되고 있으며, 호르몬제의 투여 후 황체의 퇴행이 일어날 경우 보통 2~6일 이내 발정이 관찰 된다(4,8,25). 이러한 PGF_{2α} 투여에 의한 발정동기화의 성과는 PGF_{2α} 투여 전 난소내 성숙 황체의 존재에 대한 정확한 진단(19)과 투여 후의 황체의 퇴행 및 난포의 발육과 배란에 달려 있다(2). 과거에는 발정동기화 처리전 생식기 상태의 확인을 위해서 주로 직장검사법이 이용되었으나(8,19), 현재는 초음파진단의 활용으로 난소에 존재하는 구조물의 정확한 진단과 변화 상태의 모니터링이 가능하게 되었다(22,24,26). 또한 발정동기화 처리

¹Corresponding author.
E-mail : illhwa@chungbuk.ac.kr

전, 후의 혈중 또는 우유 중 progesterone(P4) 농도를 비교하여 발정동기화 처리 반응을 평가하는 방법도 시도되었다(2,9). 지금까지의 발정동기화 처리 후 발정발현율은 36.4~87.8%, 수태율은 16.7~60%로 보고되어(1,2,4,6,8,13), 보고자, 지역 및 축군에 따라 매우 상이한 결과를 보이고 있다. 따라서 발정동기화 처리에 따른 발정발현과 수태에 영향을 미치는 요인의 파악은 소의 번식효율 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다. 발정동기화 처리 시의 산차(23), 계절(4,23) 그리고 처리전 축군의 영양관리 상태(1)가 동기화처리 후 수태율과 관련이 있다고 보고되었으나, Alnimer 등(1)은 처리 계절은 수태율에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 또한 최근 Waldmann 등(22)은 발정동기화 처리시의 난소내 황체와 난포의 크기 및 우유 중 P4 농도가 이후의 수태율에 영향을 미치지 않았다고 보고한 바 있으나, 발정동기화 처리에 따른 발정발현과 수태에 영향을 미치는 요인에 대해서는 지금까지 명확하게 밝혀지지 않은 상태이다. 따라서 본 연구는 젖소에서 발정동기화를 위한 PGF_{2α} 투여시의 산차, 공태기간, body condition score(BCS), 계절 및 사육 축군과 초음파진단에 의해 측정되는 난소에 존재하는 가장 큰 난포 및 황체의 직경과 혈청 P4 농도가 이 후의 발정발현 및 수태에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

시험축

충북 보은군 지역의 7개 젖소 목장(A~G)에서 사육중인 분만 후 공태기간이 60~496일(mean ± SD, 125.4 ± 70.2일), BCS 2.00~5.00(3.6 ± 0.6), 1~7산차(2.5 ± 1.5)의 젖소 326두를 대상으로 실시하였다. 시험축은 free-stall에서 사육되었으며 TMR(total mixed ration)형태로 사료를 급여하였고, 1일 2회 착유를 하였다. 축군의 평균 305일 산유량은 9,876 ± 1,909 kg이었다.

발정동기화 처리, 생식기 초음파검사 및 채혈

공시된 326두의 젖소는 직장검사 및 초음파 진단장치(Sonoace 600 with 5.0 MHz linear-array transducer: Medison Co. Ltd.)를 이용한 생식기를 검사를 통하여 자궁내막염에 이환되지 않은 개체 중 황체의 존재를 확인 후 PGF_{2α}(Lutalyse®, Phamacia & Upjohn, Belgium) 25 mg을 투여하여 발정을 유도하였으며, 모든 소에 대하여 Edmonson 등(7)에 의해 확립된 평가기준에 의해 BCS를 1~5단계(각 단계에서 0.25 단위로 세분)로 측정하였다. 발정동기화 처리 후 7일 동안 1일 2회 발정 관찰을 하였으며, 발정이 관찰된 모든 소는 a.m.-p.m. rule에 따라 인공수정을 하였다. 발정동기화 처리 젖소 326두 중 200두는 PGF_{2α} 투여전 추가적인 초음파진단에 의하여 난소에 존재하는 가장 큰 난포와 황체의 직경의 크기를 측정하였으며, 혈청 P4 농도를 측정하기 위하여 미정맥으로부터 채혈을 실시하였다. 인공수정된 젖소는 수정 60일 후 직장검사 및 초음파진단에 의해 임신 여부를 진단하였다.

혈청 P4 분석

혈청 P4 농도를 측정하기 위하여 채취된 혈액은 원심분리 후 혈청을 분리하여 P4 농도를 측정할 때까지 -20°C에서 보관하였으며, P4 농도는 fluoroimmunoassay(1234 Delfia Fluorometer, Wallac Inc., Turku, Finland)를 이용하여 측정하였다. 표준 용액 1.2, 9.8, 21.2 ng/ml에 대한 intra-assay 및 inter-assay 변이계수(coefficients of variation)는 각각 7.3, 4.2, 3.3% 및 10.1, 8.1, 2.7%이었다.

자료의 분석

젖소 326두의 발정동기화 처리 시의 산차, 공태기간, BCS, 계절 및 축군이 발정 발현 및 수태에 미치는 영향을 조사하기 위하여 발정동기화 처리 시점을 기준으로 젖소의 산차는 1, 2, 3산 이상으로, 공태기간 및 BCS는 시험축의 평균값을 기준으로 분만 후 125일 이하와 126일 이상으로, 3.5 이하와 3.75 이상으로 각각 구분하였다. 발정동기화 처리에서 발정발현까지의 간격이 수태율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 발정발현 간격도 평균일을 기준으로 3.5일 미만, 3.5일 이상으로 구분하였다. 발정동기화 처리 젖소 326두 중 200두로부터 초음파진단에 의해 측정된 가장 큰 난포와 황체의 직경의 크기 및 혈청 P4 농도가 발정 발현 및 수태에 미치는 영향을 조사하기 위하여 난포의 직경과 황체의 직경은 초음파측정치의 평균값을 기준으로 각각 구분하였다: 즉 난포의 직경은 15.4 mm 미만과 이상으로, 황체의 직경은 26.2 mm 미만과 이상으로 구분하였다. 혈청 P4 농도도 측정된 평균값을 기준으로 9.1 ng/ml 미만, 9.1 ng/ml 이상으로 구분하였다.

자료의 통계학적 분석은 SAS program을 이용하였다(18). 발정동기화 처리시 젖소의 산차, 공태기간, BCS, 계절, 축군, 난소에 존재하는 가장 큰 난포 및 황체의 직경 그리고 혈청 P4 농도에 따른 발정발현율 및 수태율의 비교는 chi-square test 또는 Fishers' exact test를 이용하였으며, PGF_{2α} 투여 후 발정까지의 간격은 ANOVA 분석을 이용하였다. PGF_{2α} 투여부터 발정발현 간격에 따른 수태율의 비교는 ANOVA 분석을 이용하였다. 모든 경우에 P값이 0.05 미만일 경우 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

결 과

젖소 326두의 발정동기화 처리 후 171두(52.5%)가 7일 이내 발정이 발현되어 인공수정을 하였으며, 이 중 64두(37.4%)가 임신이 되었다. 발정동기화 처리시의 젖소의 산차, 공태기간, BCS, 계절 및 축군이 발정 발현 및 수태에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 1에서와 같다. 젖소의 산차, 공태기간, BCS 및 계절은 발정발현율, 발정간격과 인공수정 후 수태율에 영향을 미치지 않았으나, 사육 축군간에는 발정발현율(31.3~65.8%, P<0.01) 및 수태율(23.1~66.7%, P<0.05)에 유의적인 차이가 있었다. 발정동기화 처리에서 발정발현까지의 간격에 따른 인공수정 후 수태율은 차이가 없었다(Table 1).

Table 1. Effects of cow parity, days open, BCS, season and herd on the estrous exhibition and conception following a single administration of PGF_{2α}

Item	No. cows treated	No. cows exhibited estrus (%)	Interval to estrus (day, means±SD)	No. cows pregnant (%)	
Parity	1	109	59 (54.1)	3.3±0.9	27 (45.8)
	2	93	47 (50.5)	3.4±1.1	17 (36.2)
	3≤	124	65 (52.4)	3.3±0.8	20 (30.8)
Days open	126 d>	212	109 (51.4)	3.4±0.9	40 (36.7)
	126 d≤	114	62 (54.4)	3.3±0.9	24 (38.7)
BCS	3.75>	198	105 (53.0)	3.4±1.0	40 (38.1)
	3.75≤	128	66 (51.6)	3.4±0.8	24 (36.4)
Season	Spring	77	38 (49.4)	3.4±0.6	15 (39.5)
	Summer	40	22 (55.0)	3.2±0.6	7 (31.8)
	Autumn	106	56 (52.8)	3.5±1.0	19 (33.9)
	Winter	103	55 (53.4)	3.4±0.9	23 (41.8)
Herd	A	38	13 (34.2) ^a	2.7±0.4	3 (23.1) ^c
	B	77	49 (63.6) ^b	3.4±0.9	16 (32.7) ^c
	C	48	15 (31.3) ^a	3.1±0.4	10 (66.7) ^d
	D	48	23 (47.9) ^{ab}	3.6±1.6	12 (52.2) ^{cd}
	E	60	37 (61.7) ^b	3.4±0.8	11 (29.7) ^c
	F	38	25 (65.8) ^b	3.5±0.6	6 (24.0) ^c
	G	17	9 (52.9) ^{ab}	3.3±0.7	6 (66.7) ^d
Interval to estrus	3.5>		101		37 (36.6)
	3.5≤		70		27 (38.6)

^{ab}P<0.01; ^{cd}P<0.05.

발정동기화 처리시 젖소 200두에 대하여 조사한 초음파진단에 의해 난소에 존재하는 가장 큰 난포 및 황체의 크기 및 혈청 P4를 측정된 결과는 Table 2에서 보여준다. 난소내 존재하는 가장 큰 난포 및 황체의 평균 직경은 각각 15.4±3.1(mean±SD), 26.2±4.8 mm이었으며, 평균 혈청 P4 농도는 9.1±4.6 ng/ml이었으며, P4 농도가 2 ng/ml 이상인 개체는 200두 중 193두(96.5%)이었으며, 나머지 7두의 혈청 P4 농도는 1 ng/ml 미만인 4두, 1~1.3 ng/ml 3두였다.

젖소 200두의 발정동기화 처리 시의 초음파진단에 의해 측정된 난소에 존재하는 가장 큰 난포와 황체의 직경의 크기

및 혈청 P4 농도가 발정 발현 및 수태에 영향을 미치지 않았다(Table 3).

고 찰

본 연구는 젖소의 PGF_{2α} 1회 투여에 의한 발정동기화 처리시 젖소의 번식에 관련되는 여러 요인이 이 후의 발정 발현 및 수태에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 개체의 산차, 공태기간, BCS 및 계절은 발정 발현 및 수태에 영향을 미치지 않았으나 축군 사이에 발정발현을 및 수태율의 차이가 인정되었으며, 초음파진단에 의해 측정된 가장 큰 난포 및 황체의 크기나 혈청 P4 농도는 이후의 발정발현을 및 수태율에 영향을 미치지 않았음을 보여준다.

PGF_{2α} 1회 투여 후 관찰된 발정발현율(52.5%)은 Drillich 등(6)과 Whittier 등(23)의 보고(55.3~56.9%)와는 비슷하였으나, Elmarimi 등(8)이 보고한 72%에 비해서는 낮은 비율을 나타내었다. 또한 발정관찰 후 인공수정에 따른 수태율(37.4%)은 Mateus 등(13), Lucy 등(11)과 Drillich 등(6)이 보고한 30.7~36%와 비슷하였으나, 다른 연구자들(8,15,17)이 보고한 45~60.9%에 비해서는 낮았으며, Alnimer 등(1)의 16.7%에 비해서는 높았다. 이와 같이 연구보고에 따라 다양한 발정발현을 및 수태율을 나타내었다. 따라서 본 연구에서

Table 2. Diameters of the largest follicle and CL, and serum P4 level from 200 dairy cows at the PGF_{2α} administration (mean±SD)

Diameter of the largest follicle (mm)	Mean	15.4±3.1
	Range	7.0~24.0
Diameter of CL (mm)	Mean	26.2±4.8
	Range	16.0~56.0
P4 concentration (ng/ml)	Mean	9.1±4.6
	Range	0.5~25.4
No. cows P4 ≥ 2.0 ng/ml (%)		193 (96.5)

Table 3. Effects of diameters of the largest follicle and CL, and serum P4 concentrations on the estrous exhibition and conception following a single administration of PGF_{2α}

Item	No: cows treated	No. cows exhibited estrus (%)	Interval to estrus (day, means±SD)	No. cows pregnant (%)	
Diameter of the largest follicle (mm)	15.4>	104	65 (62.5)	3.3±0.8	27 (41.5)
	15.4≤	96	54 (56.3)	3.4±1.0	15 (27.8)
Diameter of CL (mm)	26.2>	118	68 (57.6)	3.4±1.0	28 (41.2)
	26.2≤	82	51 (62.2)	3.3±0.7	14 (27.5)
P4 concentration (ng/ml)	9.1>	115	64 (55.7)	3.3±1.0	25 (39.1)
	9.1≤	85	55 (64.7)	3.3±0.7	17 (30.9)

는 PGF_{2α} 투여시의 젖소의 산차, 공태기간, BCS, 계절, 축군, 그리고 초음파진단에 의해 측정된 난소에 존재하는 가장 큰 난포와 황체의 크기 및 혈청 P4의 농도가 발정동기화 처리 이후 발정발현 및 수태율에 대한 영향을 조사하였다. 조사된 7개 축군의 차이에 따른 발정발현 및 수태율의 차이가 있었으며, 축군 이외의 다른 요인들은 발정발현 및 수태율에 영향을 미치지 않았다. 이와 같은 축군 간의 발정발현과 수태율 차이에 대한 정확한 원인의 규명은 어려우나 중요 소인으로는 Mayne 등(14)이 젖소 축군의 번식 효율에 영향을 미치는 중요 요인으로 제시한 발정관찰의 정확도, Alnimer 등(1)이 강조한 발정동기화 처리전의 축군의 영양 및 사양관리의 상태 등이 포함될 것으로 보인다. 따라서 본 시험 축군 간의 젖소 개체에 대한 조사료와 농후사료의 보충급여 정도, 첨가제의 급여, 그리고 목장주에 의한 개체관리 등의 여러 가지 요인들이 관계되는 것으로 보인다. Whittier 등(23)은 산차, 계절 및 축군이 발정간격에, 산차, 계절 및 발정간격이 수태율에 각각 영향을 미쳤다고 보고하여 본 연구의 결과와는 상이 하였다. Alnimer 등(1)은 착유 젖소에서 PGF_{2α} 투여시 여름철(6월~10월)에 비해 겨울철(11월~3월)에 수태율이 높았으며, Chohan(4)은 계절번식을 하는 물소에서는 번식피크기인 9월~2월까지가 번식저하기인 3월~8월까지에 비해 PGF_{2α} 투여에 따른 발정발현 및 수태율이 저하되었다고 하여 본 연구의 결과와 다른 경향을 보였는데, 이것은 연구가 이루어진 각 지역의 기온, 습도 등 환경의 차이가 영향을 줄 수 있는 것으로 보인다. 한편 Stevenson 등(21)은 PGF_{2α} 투여시 2회 이상의 다산차의 소가 1산차의 소에 비해 수태율이 감소되었다고 하였으며, BCS가 2.5를 초과하는 경우가 2.5 미만인 개체에 비해 수태율이 높았다고 하여 본 연구의 결과와 상이하였다. 이러한 연구 결과의 차이는 산차 및 BCS 구분의 범위가 서로 다른 점이 영향을 줄 수 있는 것으로 보인다. 본 연구에서 젖소의 공태 기간이 발정발현 및 수태율에 영향을 미치지 않은 것으로 나타나, 분만 후 생리적 공태 기간이 경과한 개체에 대해서는 발정발현 및 수태율의 차이 없이 발정동기화 처리가 사용될 수 있음을 보여준다.

본 연구에서 PGF_{2α} 투여전 초음파진단에 의해 측정된 난소에 존재하는 가장 큰 난포와 황체의 크기는 최근에 황체의 젖소에서 측정된 김 등(24)의 결과와 유사하였으며, 혈

청 P4 농도를 기준(≥ 2.0 ng/ml)으로 하여 초음파검사에 의한 기능성 황체의 진단 정확율(96.5%)은 손 등(26)의 93.8%와 비슷하였다. PGF_{2α} 투여에 따른 발정발현 및 수태율은 투여 호르몬에 대한 개체의 난소 반응에 의해 좌우 된다(6,22). Drillich 등(6)은 PGF_{2α} 투여후 불완전한 황체퇴행과 난포 발육의 방해가 배란을 방해하며, 이후의 수태율의 저하의 원인이 된다고 하였다. 본 연구에서는 PGF_{2α} 투여 직전 초음파진단에 의한 난소내 가장 큰 난포와 황체의 크기 및 혈청 P4 농도가 이 후의 발정발현 및 수태율에 영향을 예측할 수 있는 지표를 파악하고자 하였으나, 이와 관련된 유용한 자료를 얻을 수가 없었다. Waldmann 등(22)은 PGF_{2α} 투여시 우유 중 P4의 농도가 낮은 개체가 높은 개체에 비해 배란율이 낮았으나, 난소에 존재하는 가장 큰 난포와 황체의 크기는 배란율에 영향을 미치지 않았으며, 또한 PGF_{2α} 투여시의 황체와 가장 큰 난포의 크기 및 우유 중 P4의 농도가 수태에는 영향을 미치지 않았다고 하여 본 연구의 결과와 비슷하였다. 한편 Brito 등(2)은 PGF_{2α} 투여 전에 황체의 크기가 크고 혈장 P4의 농도가 높은 개체에서 PGF_{2α} 투여 후의 배란율이 높았다고 하였으나, 난소의 구조물과 혈중 P4 농도가 발정발현 및 수태에 미치는 영향에 대해서는 더 이상의 심도 있는 연구가 필요할 것으로 보인다.

젖소에서 PGF_{2α} 1회 투여에 의한 발정동기화 처리시 개체의 산차, 공태기간, BCS, 계절과, 초음파진단에 의해 측정된 난소의 가장 큰 난포 및 황체의 크기와 혈청 P4 농도는 발정동기화 처리 이후의 발정발현 및 수태에 영향을 미치지 않았으나, 사육 축군간에는 유의적인 차이가 인정되었다. 따라서 축군내의 정확한 발정관찰과 영양 관리의 개선이 PGF_{2α} 투여에 따른 발정발현 및 수태율의 향상에 필요할 것으로 보인다.

결 론

본 연구는 젖소의 발정동기화 처리시 발정발현 및 수태에 미치는 영향을 미치는 요인을 조사하기 위하여 실시하였다. 충북 보은군에 소재하는 7개의 젖소 목장에서 사육하는 젖소에 초음파진단에 의해 황체의 존재가 확인된 326두에 PGF_{2α} 25 mg을 투여한 후 7일간 발정을 확인하여 인공수정을 실시하였으며, 발정동기화 처리 젖소 326두 중 200두에

대하여 PGF_{2α} 투여전 추가적인 초음파진단에 의해 난소에 존재하는 가장 큰 난포 및 황체의 크기를 측정하였으며, 또한 혈청 P4 농도를 측정하였다. 젖소 326두의 발정동기화 처리 후 171두(52.5%)가 7일 이내 발정이 발현되어 인공수정을 하였으며, 이 중 64두(37.4%)가 임신이 되었다. 젖소의 산차, 공태기간, BCS 및 계절은 발정발현율, 발정 간격과 인공수정 후 수태율에 영향을 미치지 않았으나, 사육 축군간에는 발정발현율(31.3~65.8%, P<0.01) 및 수태율(23.1~66.7%, P<0.05)에 유의적인 차이가 인정되었다. 초음파진단에 의한 난소내 가장 큰 난포와 황체의 크기 및 혈청 P4 농도는 이후의 발정 발현율, 발정 간격 및 수태율에 영향을 미치지 않았다. 이러한 결과는 PGF_{2α} 투여에 의한 발정동기화의 결과는 축군의 적절한 관리 상태에 관련되어 있음을 제시한다.

감사의 글

이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- Alnimer M, De Rosa G, Grasso F, Napolitano F, Bordi A. Effect of climate on the response to three oestrous synchronisation techniques in lactating dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2002; 71: 157-168.
- Brito LFC, Satrapa R, Marson EP, Kastelic JP. Efficacy of PGF_{2α} to synchronize estrus in water buffalo cows (*Bubalus bubalis*) is dependent upon plasma progesterone concentration, corpus luteum size and ovarian follicular status before treatment. *Anim Reprod Sci* 2002; 73: 23-35.
- Butler WR. Review: effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1998; 81: 2533-2539.
- Chohan KR. Estrus synchronization with lower dose of PGF_{2α} and subsequent fertility in subestrus buffalo. *Theriogenology* 1998; 50: 1101-1108.
- Darwash AO, Lamming GE, Wooliams JA. The potential for identifying heritable endocrine parameters associated with fertility in postpartum dairy cows. *Anim Sci* 1999; 68: 333-347.
- Drillich M, Tenhagen BA, Heuwieser W. Effect of one spontaneous estrus cycle (after synchronization with PGF_{2α}) on reproductive performance in dairy cows. *Theriogenology* 2000; 54: 1389-1394.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Faver T, Webster G. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 1989; 72: 68-78.
- Elmarimi AA, Gibson CD, Morrow D, Marteniuk J, Gerloff B, Melancon J. Use of prostaglandin F_{2α} in the treatment of unobserved estrus in lactating dairy cattle. *Am J Vet Res* 1983; 44: 1081-1084.
- Glanvill SF, Dobson H. Effect of prostaglandin treatment on the fertility of problem cows. *Vet Rec* 1991; 128: 374-376.
- Gröhn YT, Rajala-Schultz PJ. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2000; 60/61: 605-614.
- Lucy MC, Billings HJ, Butler WR, Ehnis LR, Fields MJ, Kesler DJ, Kinder JE, Mattos RC, Short RE, Thatcher WW, Wettemann RP, Yelich JV, Hafs HD. Efficacy of an intravaginal progesterone insert and an injection of PGF_{2α} for synchronizing estrus and shortening the interval to pregnancy in postpartum beef cows, periparturient beef heifers, and dairy heifers. *J Anim Sci* 2001; 79: 982-995.
- Macmillan KL, Peterson AJ. A new intravaginal progesterone releasing device for cattle (CIDR-B) for oestrus synchronization, increasing pregnancy rates and the treatment of post-partum anoestrus. *Anim Reprod Sci* 1993; 33: 1-25.
- Mateus L, Lopes da Costa L, Alfaro Cardos JJ, Robalo Silva J. Treatment of unobserved oestrus in a dairy cattle herd with low oestrous detection rate up to 60 days post-partum. *Reprod Domest Anim* 2002; 37: 57-60.
- Mayne CS, McCoy MA, Lennox SD, Mackey DR, Verner M, Catney DC, McCaughey WJ, Wylie ARG, Kennedy BW, Gordon FJ. Fertility of dairy cows in Northern Ireland. *Vet Rec* 2002; 150: 707-713.
- Pankowski JW, Galton DM, Erb HN, Guard CL, Grohn YT. Use of prostaglandin F_{2α} as a postpartum reproductive management tool for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1995; 78:1477-1488.
- Rounsaville TR, Oltenacu PA, Milligan RA, Foote RH. Effects of heat detection, conception rate and culling policy on reproductive performance in dairy herds. *J Dairy Sci* 1979; 62: 1435-1442.
- Ryan DP, Sniijders S, Yaakub H, O'Farrell KJ. An evaluation of estrus synchronization programs in reproductive management of dairy herds. *J Anim Sci* 1995; 73: 3687-3695.
- SAS. SAS System, Release 8.1, SAS Inst., Cary. 1999.
- Seguin BE, Gustafsson BK, Hurtgen JP, Mather EC, Refsal KR, Wescott RA, Whitmore HL. Use of the prostaglandin F_{2α} analog cloprostenol (ICI 80, 996) in dairy cattle with unobserved estrus. *Theriogenology* 1978; 10: 55-64.
- Spalding RW, Everett RW, Foote RH. Fertility in New York artificial inseminated Holstein herds in dairy herd improvement. *J Dairy Sci* 1975; 58: 718-723.
- Stevenson JS, Kobayashi Y, Shipka MP, Rauchholz KC. Altering conception of dairy cattle by gonadotropin-releasing hormone preceding luteolysis induced by prostaglandin F_{2α}. *J Dairy Sci* 1996; 79: 402-410.
- Waldmann A, Kurykin J, Jaakma Ü, Kaart T, Aidnik M, Jalakas M, Majas L, Padrik P. The effects of ovarian function on estrus synchronization with PGF in dairy cows. *Theriogenology* 2006; 66: 1364-1374.
- Whittier WD, Gwazdauskas FC, McGilliard ML. Prostaglandin F_{2α} usage in a dairy reproduction program for treatment of unobserved estrus, pyometra and ovarian luteal cysts. *Theriogenology* 1989; 32: 693-704.
- 김용준, 박희섭, 김용수, 조성우, 신동수, 이해이, 김수희. 젖소에서 초음파 검사를 이용한 번식장애 정밀진단에 관한 연구. *J Vet Clin* 2006; 23: 133-143.
- 김일화, 손동수, 전대규, 조현주, 류일선, 윤상보, 최창열, 이광원, 김준식, 김현, 박상문, 지병천. 소의 수정란이식에 관한 연구. *한국수정란이식연구회지* 1990; 5: 38-44.
- 손창호, 강병규, 최한선, 강현구, 백인석, 서국현. 초음파 진단장치를 이용한 축우의 번식효율증진에 관한 연구. II. 무발정 젖소에서 초음파검사 및 progesterone 농도측정에 의한 난소 구조물의 비교평가. *대한수의학회지* 1998; 38: 642-651.