

研究論文

片側精巣を摘出した黒毛和種雄子牛における残存精巣の内分泌学的および組織学的解析

白尾優佳, 小林郁雄¹⁾, 邊見広一郎¹⁾, 二瓶和美²⁾, 北原 豪^{†)}

宮崎大学農学部産業動物臨床繁殖学研究室

¹⁾宮崎大学農学部附属住吉フィールド, ²⁾日本動物高度医療センター

(2011年12月22日 受理)

Endocrinological and histological analysis of the testes in hemicastrated Japanese Black calves

Yuka SHIRAO, Ikuo KOBAYASHI¹⁾, Koichiro HEMMI¹⁾, Kazumi NIBE²⁾, Go KITAHARA^{†)}

Laboratory of Theriogenology, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki,

¹⁾Sumiyoshi Field, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, ²⁾Japan Animal Referral Medical Center

Summary : This study examined plasma testosterone (T) levels before and after a human chorionic gonadotropin (hCG) injection and the histological findings of the excised testes from control (intact), hemicastrated and bilaterally castrated Japanese Black calves. In Experiment 1, the first hCG stimulation test (IM 14 or 28) was conducted in 19 calves. They were hemicastrated on 7 days after the hCG injection and divided into two groups, and the second hCG stimulation test was conducted on 14 days after hemicastration in one group (HC 14) or 28 days after hemicastration in the other group (HC 28). The remaining testes were removed in all calves on 7 days after the second hCG injection, and the third hCG stimulation test was conducted at 14 days after bilaterally castrated (BC 14 or 28). Plasma T levels were investigated just before (day 0), on 5 (day 5) and 7 days (day 7) after each hCG injection. In Experiment 2, 12 calves aged 237 ± 7 days old were used, and the testes excised from control (n=4) and hemicastrated calves in HC 14 (n=4) and HC 28 (n=4) groups were examined histologically. Plasma T levels at day 0 in IM and HC groups were significantly higher than BC group, whereas there was no significant difference between IM and HC groups. In IM and HC groups expect HC 28 group, plasma T levels after the hCG injection were significantly higher than before. HC 28 group showed significantly the higher area ratio of seminiferous tubules and the lower Sertoli cell counts in seminiferous tubules than control calves. In conclusion, although plasma T levels on 14 days after hemicastration were equivalent to control calves, compensatory changes in the remaining testes were not observed histologically after hemicastration.

Key words : An hCG stimulation test, Compensatory change, Hemicastration, Japanese Black calves, Testosterone.

緒言

肉用牛である黒毛和種牛において、肉質への影響や飼養管理の上で、テストステロン(T)産生能を評価することは重要である。去勢が行われず

Tを産生している牛の枝肉は、去勢した牛の枝肉と比べ脂肪含有量が少なく、肉質が不良であった報告(Morgan *et al.* 1993), 精巣摘出や内因性性腺刺激ホルモン放出因子に対する特異抗体の産生

†責任著者名: 北原 豪

宮崎大学農学部産業動物臨床繁殖学研究室

〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1

Tel/FAX; 0985-58-7655, E-mail; gkitahara@cc.miyazaki-u.ac.jp

Corresponding author: Go Kitahara

Laboratory of Theriogenology,

Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

1-1 Gakuen Kibana-dai Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan

Tel/FAX; 0985-58-7655, E-mail; gkitahara@cc.miyazaki-u.ac.jp

を促す免疫学的製剤の投与により血中T濃度が低下した雄牛は、攻撃的行動が減少した報告 (Price *et al.* 2003) がある。去勢は、肉用牛の肉質向上や飼養管理の容易化を目的とした重要な手法である。

潜在精巣は、胎生期に精巣が陰嚢内に下降せず体内に停留する疾患で、牛では片側性が多く (St. Jean *et al.* 1992)、潜在精巣のT産生能の有無が問題となる。

精巣が片側性に残存する個体の内分泌学的機構は、牛 (Boockfor *et al.* 1983)、羊 (Brown *et al.* 1988)、ラット (Furuya 1990)、豚 (Kosco *et al.* 1987)、ウサギ (Kamyar *et al.* 2009) など様々な動物種で報告されている。牛において片側精巣を摘出後、血液中の卵胞刺激ホルモン (FSH) 濃度は上昇するが、黄体形成ホルモン (LH) やT濃度は維持される (Barnes *et al.* 1983)。春機発動前に片側精巣を摘出すると残存している精巣は代償性に肥大する (Schanbacher *et al.* 1987)。しかし、片側精巣を摘出後1カ月以降にホルモン動態や残存させていた精巣の組織を解析した報告 (Leidl *et al.* 1980; Sundby *et al.* 1981) はあるが、片側精巣を摘出後1カ月以内の変化を調べた報告は少ない。

雄牛の性腺機能を評価する方法として、人絨毛性性腺刺激ホルモン (hCG) を用いた負荷試験がある。hCGはLH様作用を有するため、外因性にhCGを投与すると、機能的な精巣が存在する場合、精巣のライディッヒ細胞でTの合成と分泌が促進され、血中T濃度の上昇がみられるが、機能的な精巣が存在しない場合、血中T濃度の上昇はみられない (Davenport *et al.* 1995)。

本研究では、試験的に片側精巣を摘出し、摘出後14日と28日に片側精巣摘出牛として用いた。試験1として同一の牛における正常時、片側精巣摘出時、去勢時の異なる状態で、hCG負荷に対する血中T濃度の反応を比較した。試験2として、同一の日齢の個体間で、血中T濃度と残存させていた精巣の組織学的な変化を正常牛と片側精巣摘出牛で比較した。

材料および方法

本研究における実験は、宮崎大学動物実験委員会の承認 (2009-016) のもとに行なった。

試験1 片側精巣摘出牛の内分泌学的解析

供試牛

宮崎大学農学部附属住吉フィールドで飼養され、両側精巣が陰嚢内に正常に下降した黒毛和種雄牛19頭 (207±17日齢: 平均±標準偏差) を供した。

処置

試験1および試験2のプロトコールをFig. 1に示した。

供試牛は14日群 (n=8) と28日群 (n=11) に無作為に分けた。14日群は、両側精巣が陰嚢内に存在した時を正常群 (IM14群) としてhCG負荷試験を行い、hCG負荷試験終了時に右側精巣のみ摘出した。摘出後、14日間経過観察を行った後、片側精巣摘出群 (HC14群) として2回目のhCG負荷試験を行った。2回目のhCG負荷試験終了後、残存させていた左側精巣を摘出し、摘出後14日より去勢群 (BC14群) として3回目のhCG負荷試験を行った。28日群は、14日群と同様に、両側精巣が陰嚢内に存在した時を正常群 (IM28群) としてhCG負荷試験を行い、hCG負荷試験終了時に右側精巣のみ摘出した。摘出後、28日間経過観察を行った後、片側精巣摘出群 (HC28群) として2回目のhCG負荷試験を行い、2回目のhCG負荷試験終了後、残存させていた左側精巣を摘出し、摘出後14日より去勢群 (BC28群) として3回目のhCG負荷試験を行った。

hCG負荷試験

筋肉内にhCG 3,000 IU (プベローゲン, ノバルティス・アニマルヘルス, 東京) を投与し、血液を投与直前 (day 0)、投与5日後 (day 5)、7日後 (day 7) に頸静脈よりヘパリン加血として採取した。採取した血液は4℃、3,000回転で20分間遠心分離し、分離した血漿は血中T濃度を測定するまで-30℃で保存した。

精巣摘出

キシラジン0.04 g/100 kg (セラクター, バイエル薬品株式会社, 東京) の静脈内投与にて鎮痛および鎮静後、陰嚢を切開し精巣および精索を創外に露出した。精索を絹糸で結紮し、精巣上体とともに精巣を摘出した。精巣摘出後、筋肉内にペニシリンプロカイン300万単位 (懸濁水性プロカインペニシリンG明治, 明治製薬株式会社, 東京) を投与した。すべての手術が終了した後、アチパメゾル2.5 mg/100 kg (アンチセダン, 日本全薬工

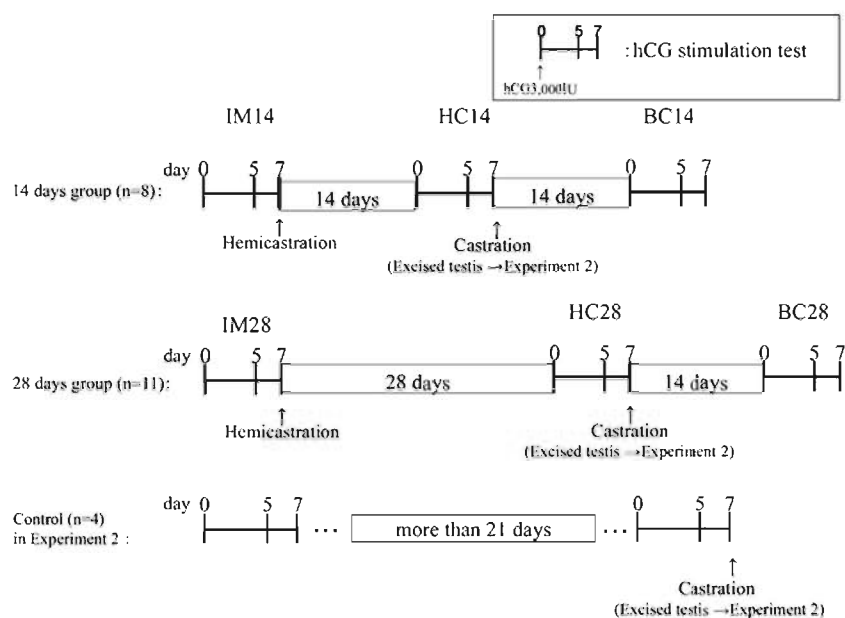


Fig. 1. Experiment protocol

The hCG stimulation test was performed by evaluating plasma testosterone (T) levels before (day 0), 5 (day 5) and 7 days (day 7) after an hCG injection. In experiment 1, the hCG stimulation tests were conducted when each group was normal (IM 14 or IM 28), hemicastrated (HC 14 or HC 28) or bilaterally castrated (BC 14 or BC 28). In experiment 2, 4 intact calves and 8 calves in the hemicastrated calves in experiment 1 were investigated, and their left descended or remained testes were excised on 237 ± 7 days after birth. The excised testes from calves in each group were histologically analyzed.

業株式会社, 福島) を静脈内に投与し, 覚醒させた。

ホルモン測定

自動免疫蛍光測定装置 (MiniVIDAS, シスメックス・バイオメテック, 東京) にて, 血中T濃度を測定した。本測定法の測定範囲は0.1 ngから13.0 ng/ml, 測定感度は0.1 ng/ml, 測定内変動係数は20%以下, 測定間変動係数は10%以下だった。

試験2 片側精巣摘出後日数が残存させた精巣におよぼす内分泌学的・組織学的影響

供試牛

精巣摘出時の日齢を揃えるため, 試験1で左側精巣摘出時の日齢が230日齢から244日齢だったHC 14群の4頭, HC 28群の4頭の計8頭を供した。

また, 対照群 (Control群) として両側精巣が陰嚢内に正常に下降した正常雄子牛4頭 (233 \pm 2日齢) を供した。Control群は, 試験開始の21日から35日前にhCG 3,000 IUを投与し, HC群とhCG投与回数を一致させた。

処置

HC群, Control群ともに237 \pm 7日齢より, hCG

を投与する前に採血を行い, 血中T濃度を測定した。hCG 3,000 IU投与後7日の230日齢から244日齢に, 残存精巣 (HC 14群とHC 28群) と両側精巣 (Control群) を摘出した。

組織学的解析

摘出した左側精巣は重量, 長径, 短径を測定後, 直ちに10%ホルマリン溶液で7日間以上固定し, 精巣中心部の横断面をパラフィンで包埋した。4 μ mで薄切し, ヘマトキシリン・エオジン染色を行い, 光学顕微鏡で観察した。200倍視野で, 5視野中の精細管数と精細管直径を測定し, 1視野平均を算出した。400倍視野で5視野中のライディッヒ細胞数を測定し, 1視野平均を算出した。また過去の報告 (Erickson *et al.* 1976; Moura *et al.* 2011) と同様に, 容積, 精細管領域容積, ライディッヒ細胞領域容積, 精巣あたりのセルトリ細胞数, ライディッヒ細胞数を算出した。横断面中の精細管の占める割合 (%st) は, 方眼接眼マイクロメーターを用いて測定し, 600区画数のうち, 精細管領域にあたる区画数の割合を算出した。容積 (V) は $V = \pi R^2 h$ (Rは短径/2, hは長径) で算出し, Vに %stをかけて精細管領域容積 (Vst) とした。ライディッヒ細胞領域容積 (V_L) はVstと同様に算出

した。精巣あたりのセルトリ細胞数は、10本あたり精細管容積 (V_{10st}) を $V_{10st} = \pi(D_{st}/2)^2 \times 4 \mu\text{m} \times 10$ (D_{st} は精細管直径, $4 \mu\text{m}$ は切片の厚さ) で算出し、10本の精細管内のセルトリ細胞数に V_{st}/V_{10st} をかけて算出した。ライディッヒ細胞の核小体容積は $\pi(\text{核小体直径}/2)^3 \times (4/3)$ で、核小体/細胞質比は方眼接眼マイクロメーターを用いて測定した。ライディッヒ細胞容積は、核小体容積を核小体/細胞質比で割り算出し、精巣あたりのライディッヒ細胞数は、 V_L をライディッヒ細胞容積で割り算出した。

統計解析

試験1の各群内のday間の血中T濃度の違い、各群間のday0の血中T濃度はウィルコクソンの符号順位検定を、試験2の各群間のday0の血中T濃度、組織学的に解析した項目はMann-WhitneyのU検定を用いて解析した。

結果

試験1の結果をFig. 2に示した。day0の血中T濃度はBC 14群が 0.3 ± 0.3 ng/mlとIM 14群、HC 14群の 6.1 ± 6.3 , 11.4 ± 12.7 ng/mlより有意に低かった ($P < 0.01$)。IM 14群とHC 14群の間に有意な差はみられなかった ($P = 0.46$)。BC 28群は 0.2 ± 0.1 ng/mlとIM 28群、HC 28群のそれぞれ $4.5 \pm$

3.8 , 6.4 ± 4.6 ng/mlより有意に低かった ($P < 0.01$)。IM 28群とHC 28群の間に有意な差はみられなかった ($P = 0.21$)。また、IM 14群とIM 28群の間 ($P = 0.44$)、HC 14群とHC 28群の間に有意な差はみられなかった ($P = 0.90$)。BC 14群はBC 28群より有意に高かった ($P < 0.05$)。

hCG投与前のday0、hCG投与後のday5、day7の血中T濃度は、IM 14群ではそれぞれ 6.1 ± 6.3 , 18.4 ± 10.6 , 7.1 ± 4.9 ng/mlと、day5で有意に上昇し ($P < 0.01$)、その後有意に下降した ($P < 0.01$)。HC 14群ではそれぞれ 11.4 ± 12.7 , 18.3 ± 15.8 , 16.3 ± 16.5 ng/mlと、day5で有意に上昇した ($P < 0.05$)。BC 14群ではそれぞれ 0.3 ± 0.3 , 0.4 ± 0.2 , 0.3 ± 0.1 ng/mlとday5でday7よりも有意に高かった ($P < 0.05$)。IM 28群ではそれぞれ 4.5 ± 3.8 , 20.0 ± 8.8 , 12.4 ± 6.7 ng/mlとday5で有意に上昇し ($P < 0.01$)、その後有意に下降した ($P < 0.01$)。また、day7はday0よりも有意に高かった ($P < 0.01$)。HC 28群ではそれぞれ 6.4 ± 3.6 , 14.1 ± 11.4 , 8.6 ± 7.0 ng/mlと有意な差はみられず (day0 vs day5: $P = 0.07$, day5 vs day7: $P = 0.12$, day7 vs day0: $P = 0.70$)、BC 28群でもそれぞれ 0.2 ± 0.1 , 0.2 ± 0.1 , 0.1 ± 0.1 ng/mlと有意な差はみられなかった (day0 vs day5: $P = 0.92$, day5 vs day7: $P = 0.11$, day7 vs day0: $P = 0.08$)。

試験2の結果をTable 1に示した。day0の血中

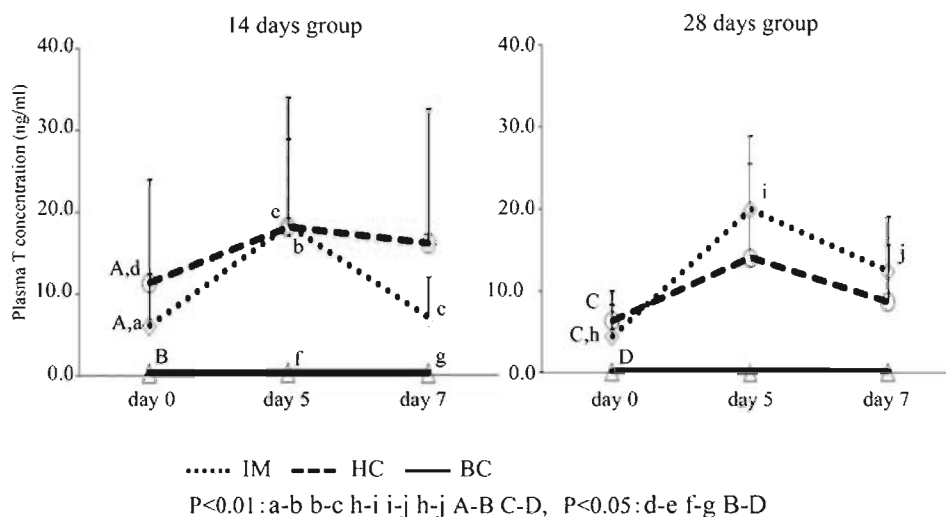


Fig. 2. Plasma T levels in hCG stimulation test

Plasma T concentrations were measured before and after an hCG injection (days 0, 5 and 7). In both IM 14 and IM 28 groups, plasma T concentrations increased from day 0 to 5 and decreased from day 5 to 7. The significant difference are indicated by capital letters (between the different groups) or small letters (between the different days).

Table 1. Plasma T concentrations after hemicastration and histological analysis of excised left testis in Experiment 2

Item		Control (n=4)	HC14 (n=4)	HC28 (n=4)
T	(ng/ml)	8.1±8.3	4.0±3.5	6.6±6.0
Testis	weight (g)	70.3±15.0	57.8±14.5	79.2±23.9
	volume (ml, V)	32.8±6.7	28.7±9.4	37.3±11.6
Seminiferous tubule (St)	count/section	9.9±2.5	11.4±2.2	7.9±1.2
	diameter (μm, D _s)	87.7±16.0	88.2±11.9	99.2±13.7
	area ratio/section (%)	52.2±5.3	56.1±4.0	62.8±4.4*
	regions (mm ² , V _s)	16.0±7.5	16.0±6.4	23.7±8.5
Sertoli cell	count/10 St	268.5±44.7	216.0±20.2	195.5±37.1*
	count/testis (×10 ³)	16.6±3.2	14.5±6.9	14.5±2.9
Leydig cell	count/section	70.2±25.5	60.9±18.5	58.1±11.0
	regions (mm ² , V _L)	13.8±4.7	12.1±3.0	13.6±3.3
	count/testis (×10 ³)	26.9±11.8	21.9±8.7	31.8±0.9

*: P<0.05, significantly different from Control.

HC 28 group showed the higher area ratio of seminiferous tubules and the lower Sertoli cell count in seminiferous tubule than Control (P<0.05).

T濃度は、Control群、HC 14群、HC 28群でそれぞれ8.1±8.3、4.0±3.5、6.6±6.0 ng/mlと各群間で有意な差はみられなかった (Control群 vs HC 14群: P=0.49, Control群 vs HC 28群: P=0.89, HC 14群 vs HC 28群: P=0.49)。精巣の組織学的解析では、精細管領域率 (%st) は、HC28群で62.8±4.4%とControl群の52.2±5.3%よりも有意に高かった (P<0.05)。また、精細管10本あたりセルトリ細胞数は、HC 28群で195.5±37.1個とControl群の268.5±44.7個よりも有意に少なかった (P<0.05)。精巣重量、V、1視野中の精細管数、D_s、V_s、精巣あたりセルトリ細胞数、1視野中のライディッヒ細胞数、V_L、精巣あたりライディッヒ細胞数に有意な差はみられなかった。

考 察

本研究において、正常雄子牛、片側精巣を摘出した雄子牛の血中T濃度は、去勢牛より有意に高かった。これは、両側精巣を摘出した牛の血中T濃度が、精巣を摘出していない正常牛より有意に低かった報告 (Imwalle & Schillo 2002) と一致した。本研究の試験1の結果から、正常に両側精巣がある牛と片側精巣を摘出した雄子牛の血中T濃度に有意な差がみられなかった。しかし、供試した牛において、正常雄子牛と片側精巣を摘出した雄子牛との採血時の日齢が3週間から5週間離れていた。25週齢以降の牛は、精巣重量やT分泌などの精巣機能が著しく発達する時期 (Rawlings

et al. 2008)にあることから、成長により精巣機能が発達し有意な差がみられなかった可能性が考えられた。しかし、試験2のように同一日齢の牛においても、正常牛と片側精巣を摘出した牛の血中T濃度に有意な差がみられなかったことから、片側精巣を摘出した牛において、残存する精巣が摘出された精巣を代償したと考えられた。

片側精巣を摘出後1日では一過性に血中T濃度が正常雄子牛より低下したが、その後10日までに違いがみられなくなった報告 (Boockfor *et al.* 1983) や、片側精巣を摘出後、血中FSH濃度が上昇し (Barnes *et al.* 1981)、FSHの作用でライディッヒ細胞のLHレセプター数が増加した報告 (Sizonenko *et al.* 1973) がある。よって、片側精巣を摘出後、一時的に血中T濃度が下降し下垂体に対する負のフィードバックが解かれ、FSH濃度が上昇し、それによってライディッヒ細胞のLHレセプター数が増加し、精巣あたりのT産生量が増加することで正常雄子牛と同等の血中T濃度を維持する代償性の変化が考えられる。本研究でも、片側精巣を摘出後14日と28日で血中T濃度を比較したが、両群とも正常雄子牛と違いがみられなかった。

hCG投与後の血中T濃度は、正常牛でhCGに反応して上昇がみられたが、投与後7日で有意に減少した。馬ではhCG投与後1日から2日で血中T濃度が最大となり、7日後には減少するが投与前より高い値を示した (Bollwein *et al.* 2008)。

本研究の結果は概ねこれと一致したが、片側精巣を摘出した牛では摘出後日数により反応性が異なった。これは、片側精巣を摘出することで代償性変化が生じた結果、FSHやLHが多く分泌され、FSHやLHに対する受容体のダウンレギュレーションがおこったことが推察される。しかし、本研究では、FSHやLHの受容体について調べておらず、今後、更なる検討が必要である。

hCGの投与量について、投与した牛の月齢は異なるが、750 IUまたは1,500 IU (Sundby 1981) や6,000 IU (Sundby *et al.* 1975) を投与した報告がある。投与後の血中T濃度は、個体により差があるが、投与前に比べ約3倍から5倍に上昇した。本研究では、臨床でよく用いられている3,000 IUを投与したが、これまでの報告と同様の結果が得られた。

片側精巣を摘出後、残存させていた精巣では、ウサギにおいてライディッヒ細胞数と精巣容積が増加した (Kamyar *et al.* 2009) 報告や、ラットにおいて精細管直径、生殖細胞数、精巣容積が増加した (Putra & Blackshaw 1982) 報告がある。本研究において、セルトリ細胞数は群間で片側精巣の摘出による影響がみられなかった。セルトリ細胞の増殖は、牛では30週から40週齢で完了する (Rawlings *et al.* 2008) ことから、本研究において片側精巣を摘出した時期が30週齢前後であったことから、片側精巣の摘出による影響は受けなかったと考えられた。このことは、 20 ± 0.6 週齢時に摘出した精巣とその後残存させ54週齢で摘出した精巣の間で、精巣あたりのセルトリ細胞数に違いがみられなかった報告 (Moura *et al.* 2011) と一致する。豚において、片側精巣を摘出後の代償性肥大は、セルトリ細胞の肥大とライディッヒ細胞の肥大および増殖による報告 (Lunstra *et al.* 2003) がある。本研究では、片側精巣を摘出した後の日数によって組織学的に有意な差はみられなかったが、雄豚で若齢時に片側精巣を摘出し、摘出後の日数が長いほど精巣の大きさが有意に増加した報告 (Lunstra *et al.* 2003) がある。今後、片側精巣の摘出後14日以前や28日以降の牛など、本研究で調べなかった片側精巣を摘出した後の日数についても検討する必要がある。

本研究において、Tを合成、分泌するライディッヒ細胞の増加はみられなかった。しかし片側精巣

を摘出した牛では、両側精巣がある正常牛の血中T濃度と有意な差がみられなかったことから、精巣の組織学的な変化よりも視床下部 - 下垂体 - 性腺軸に関するホルモンおよびその受容体に変化することで、正常牛の血中T濃度と有意な差がみられなかった可能性が示唆された。

まとめとして、黒毛和種雄子牛において、片側精巣を摘出した後の内分泌学のおよび精巣の組織学的な変化を解析した結果、片側精巣を摘出した後、残存させていた精巣のみで両側精巣が存在する時と同等の血中T濃度を維持し、この変化は精巣の組織学的変化によらないことがわかった。

要 約

試験的に片側精巣を摘出した子牛を作出し、血中テストステロン (T) 濃度、人絨毛性性腺刺激ホルモン (hCG) に対する反応性を正常、片側精巣、去勢時と比較し、片側精巣の摘出による残存させた精巣の組織学的な変化を調べた。

試験1として、正常雄子牛 (IM 14群, IM 28群)、右側精巣のみを摘出した後14日 (HC 14群) か28日 (HC 28群) の牛、その後残存させていた左側精巣を摘出した後14日の牛 (BC 14群, BC 28群) に、hCG負荷試験としてhCG投与直前 (day 0)、hCG3,000 IU投与後5日、7日 (day 5, 7) に採血を行い、血中T濃度を測定した。試験2として、試験1の供試牛のうち残存させた左側精巣を摘出した日齢が 237 ± 7 日だった8頭 (HC 14群:4頭, HC 28群:4頭) を供し、 237 ± 7 日齢で両側精巣を同時に摘出したControl群 ($n=4$) と、摘出した左側精巣の組織学的変化を比較した。その結果、試験1においてday 0の血中T濃度はIM群、HC群間で有意な差はみられず、BC群は他の2群と比べて有意に低かった ($P<0.01$)。IM群はhCG投与後有意に上昇しその後有意に下降した ($P<0.05$)。試験2において、HC 28群はControl群よりも、精細管領域率が有意に高く ($P<0.05$)、10本あたり精細管内セルトリ細胞数が有意に少なかった ($P<0.05$) が、ライディッヒ細胞数に有意な差はみられなかった。片側精巣を摘出後14日以上経過した牛は、残存させた精巣のみで正常雄子牛の血中T濃度と同等のレベルを維持し、この変化は残存させた片側精巣の組織学的な変化によらないことがわかった。

キーワード : hCG負荷試験, 代償性変化, 片側精巣摘出, 黒毛和種子牛, 血中T濃度

謝 辞

本研究は平成23年度宮崎大学戦略重点経費の助成を受けて行われた。記して深謝する。

引用文献

- Arlindo, A. M., Carlos E. A. Souzaa, B., Ericksonb, H. (2011) Early prepubertal testis criteria, seminiferous epithelium and hormone concentrations as related to testicular development in beef bulls. *Anim. Reprod. Sci.* **124**, 39-47
- Barnes, M. A., Boockfor, F. R., Bierley, S. T., Kazmer, G. W., Halman, R. D., Dickey, J. F. (1981) Effect of unilateral castration and unilateral cryptorchidism on gonadotropin and testosterone response to gonadotropin releasing hormone in the bull. *J. Anim. Sci.* **53**, 1341-1350
- Barnes, M. A., Kazmer, G. W., Boockfor, F. R., Wade, R. J., Halman, R. D., Dickey, J. F. (1983) Testosterone, luteinizing hormone, follicle stimulating hormone, and prolactin response to unilateral castration in prepubertal Holstein bulls. *Theriogenology* **19**, 635-646
- Bollwein, H., Schulze, J.J., Miyamoto, A., Sieme, H. (2008) Testicular blood flow and plasma concentrations of testosterone and total estrogen in the stallion after the administration of human chorionic gonadotropin. *J. Reprod. Dev.* **54**, 335-339
- Boockfor, F.R., Barnes, M.A., Kazmer, G.W., Halman, R.D., Bierley, S.T., Dickey, J.F. (1983) Effects of unilateral castration and unilateral cryptorchidism of the holstein bull on plasma gonadotropins, testosterone and testis anatomy. *J. Anim. Sci.* **56**, 1376-1385
- Brown JL, Schoenemann HM, Stuart LD, Chakraborty PK. (1988) Short-term pituitary-testicular responses of prepubertal ram lambs to hemicastration. *Biol. Reprod.* **39**, 854-861.
- Davenport, M., Brain, C., Vandenberg, C., Zappala, S., Duffy, P., Ransley, P.G., Grant, D. (1995). The use of the hCG stimulation test in the endocrine evaluation of cryptorchidism. *Brit. J. Urol.* **76**, 790-794.
- Erickson, B.H., Blend, M.J. (1976) Response of the Sertoli cell and stem germ cell to ^{60}Co γ radiation (dose and dose rate) in testes of immature rats. *Biol. Reprod.* **14**, 641-650
- Furuya, T. (1990) Onset of compensatory hypertrophy of interstitial tissue and Leydig cells in rats hemicastrated around the time of puberty. *Biol. Reprod.* **42**, 491-498.
- Imwalle DB, Schillo KK. (2002) Castration increases pulsatile luteinizing hormone release, but fails to diminish mounting behavior in sexually experienced bulls. *Domest Anim Endocrinol.* **22**, 223-235.
- Kamyar T.T., Sakineh A., Elena, S. (2009) Pattern of Compensatory Hypertrophy in Contralateral Testis after Unilateral Orchiectomy in Immature Rabbits. *Urol. J.* **6**, 199-203
- Kosco, M.S., Bolt, D.J., Wheaton, J.E., Loseth, K.J., Crabo, B.G. (1987) Endocrine responses in relation to compensatory testicular growth after neonatal hemicastration in boars. *Biol. Reprod.* **36**, 1177-11785.
- Leidl, W., Braun, U., Stolla, R., Schams, D. (1980) Effects of hemicastration and unilateral vasectomy on the remaining gonad and the FSH, LH and testosterone blood concentration in bulls. *Theriogenology* **14**, 173-184.
- Lunstra, D.D., Wise, T.H., Ford, J.J. (2003) Sertoli Cells in the Boar Testis: Changes During Development and Compensatory Hypertrophy after Hemicastration at Different Ages. *Biol. Reprod.* **68**, 140-150
- Morgan, J.B., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Savell, J.W., Crouse, J.D. (1993) Meat tenderness and the calpain proteolytic system in longissimus muscle of young bulls and steers. *J. Anim. Sci.* **71**, 1471-1476.
- Price, E.O., Adams, T.E., Huxsoll, C.C., Borgwardt, R.E. (2003) Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J. Anim. Sci.* **81**, 411-415.
- Putra, D.K., Blackshaw, A.W. (1982) Morphometric studies of compensatory testicular hypertrophy in the rat after hemicastration. *Aust. J. Biol. Sci.* **35**, 287-293
- Rawlings, N., Evans, A.C.O., Chandolia, R.K., Bagu, E.T. (2008) Sexual Maturation in the Bull. *Reprod. Dom. Anim.* **43**, 295-301
- Schanbacher, B.D., Fletcher, P.W., Reichert, L.E. (1987) Testicular compensatory hypertrophy in the hemicastrated calf: effects of exogenous estradiol. *Biol. Reprod.* **36**, 1142-1148.
- St Jean, G., Gaughan, E.M., Constable, P.D. (1992) Cryptorchidism in North American cattle: breed predisposition and clinical findings. *Theriogenology* **38**, 951-958.
- Sundby, A. (1981) The immediate effect of hCG upon plasma testosterone levels in the bull. *Acta*

Vet. Scand. **22**, 403-408.

Sundby, A., Andresen, O., Standal, N. (1981) Effect of hemicastration on the level of testicular steroids and growth in bulls and boars. *Theriogenology* **16**, 249-257.

Sundby, A., Tollman, R., Velle, W. (1975) Long-term effect of hCG on plasma testosterone in bulls. *J. Reprod. Fert.* **45**, 249-25