

**RÉSUMÉ** Cet article passe en revue les applications de l'écho-Doppler à l'étude de la vascularisation de l'utérus non-gravide et gravide, des follicules et du corps jaune. Au cours des phases oestrale et prooestrale du cycle, la vascularisation de l'utérus augmente sous l'effet vasodilatatoire des oestrogènes. La vasoconstriction observée au cours de la 1ère semaine du postpartum contribue à l'involution utérine. La vascularisation utérine augmente au cours du premier mois de gestation. Toutefois, ce critère ne permet pas de constituer une méthode de constat de gestation. Le flux sanguin de l'artère utérine augmente durant la deuxième moitié de la gestation et correspond à l'augmentation de son diamètre. L'alimentation et le stress thermique pourraient influencer les caractéristiques vasculaires de l'utérus gravide. L'examen de la vascularisation des follicules cavitaires permet d'évaluer leur capacité à devenir dominant, à ovuler et à synthétiser de la progestérone. On le sait, diamètre et surface du corps jaune sont positivement corrélés aux concentrations de progestérone et à la vascularisation lutéale. L'écho-Doppler offre de réelles possibilités pour caractériser la qualité du corps jaune pour sélectionner les receveuses d'embryons par exemple ou identifier très précocement la régression du corps jaune et donc une absence de gestation.

# Applications de l'écho-Doppler en reproduction bovine.

## Caractéristiques vasculaires de l'utérus, des follicules et des corps jaunes.

La caractérisation par écho-Doppler de la vascularisation de l'utérus, des follicules et du corps jaune offre de nouvelles perspectives dans la compréhension de la physiopathologie de ces structures.

Par **Christian HANZEN<sup>1</sup>, Nicole PICARD-HAGEN<sup>2</sup>, Quentin BOURDIOL<sup>2</sup>, Uxia YANEZ RAMIL<sup>3</sup>, Jocelyn DUBUC<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Département de gestion vétérinaire des ressources animales, B42 Sart Tilman, B - 4000 Liège, Belgique

<sup>2</sup> Université de Toulouse, Ecole nationale vétérinaire de Toulouse, France

<sup>3</sup> Universidade de Santiago de Compostela, Facultade de Veterinaria, Lugo, Espagne

<sup>4</sup> Université de Montréal, Faculté de Médecine Vétérinaire, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada

[christian.hanzen@uliege.be](mailto:christian.hanzen@uliege.be)

L'échographie de type B-mode constitue une technologie incontournable auprès des professionnels de la reproduction bovine pour renforcer l'exactitude et la précocité des diagnostics établis lors de l'examen des ovaires et de l'utérus gravide ou non-gravide, pour mieux comprendre la physiologie ovarienne et utérine et contribuer au développement des biotechnologies de l'embryon. Une seconde étape a été franchie avec l'utilisation de l'écho-Doppler aussi appelé échographie Doppler ou encore plus simplement Doppler (19). L'écho-Doppler est plus spécifiquement utilisé en reproduction pour caractériser le flux sanguin au niveau de vaisseaux tels que l'artère utérine, ombilicale, testiculaire ou iliaque

ou au niveau des parenchymes tels que le corps jaune et le testicule ou encore des structures de paroi tels que les follicules (8,12,14,30,31,43).

Les publications relatives aux applications de l'écho-Doppler en reproduction bovine ne cessent de se multiplier. Aussi, nous a-t-il semblé intéressant d'informer les praticiens plus spécialisés en reproduction bovine sur les potentialités de cet outil diagnostique appliqué à l'évaluation de l'utérus gravide et non-gravide, des follicules et des corps jaunes.

Classiquement, le flux sanguin utérin, avec une vitesse de flux de l'ordre 5-20 cm/s, est examiné par échodoppler pulsé associé au Doppler couleur, au niveau de l'artère utérine quelques

centimètres en arrière de son origine au niveau de l'artère iliaque interne. Son diamètre est respectivement de 2,8 à 5 mm et de 10 à 12 mm chez l'animal non gestant et gestant (7).

L'identification de la présence d'une structure lutéale et l'évaluation de sa fonctionnalité sont indispensables pour permettre au praticien de mieux gérer la reproduction, et notamment de rationaliser l'utilisation de la prostaglandine F2 $\alpha$  pour induire un oestrus. Elle lui permet également de mieux sélectionner des receveuses et de poser dès le 21<sup>ème</sup> jour après l'insémination un constat de gestation. La palpation manuelle est classiquement utilisée pour détecter un corps jaune mature. L'échographie B-mode permet de mesurer le diamètre, la surface et indirectement le volume du corps jaune. L'écho-Doppler offre l'avantage de pouvoir évaluer le degré d'activité de la structure par la caractérisation de son degré de vascularisation. Tout comme les follicules, les corps jaunes, ayant une vascularisation plus diffuse et des vitesses de flux sanguin moins importantes, l'évaluation de leur vascularisation est réalisée par écho-Doppler couleur ou par écho-Doppler puissance.

## L'utérus non-gravide

Au cours du cycle, le flux sanguin au niveau de l'artère utérine dépend des concentrations relatives en oestrogènes et en progestérone. Ainsi, sous l'effet vasodilatatoire des oestrogènes, le flux sanguin augmente au cours du prooestrus et de l'oestrus et diminue en dioestrus (7).

D'autres facteurs sont également de nature à modifier le degré de perfusion de l'utérus. Ainsi, le flux sanguin augmente lors d'un traitement de superovulation (23).

Le flux sanguin utérin a également été caractérisé lors de l'involution ou d'infections utérines. Au cours de la 1<sup>ère</sup> semaine du postpartum, on observe une diminution du flux sanguin résultant d'une vasoconstriction importante. Elle entraîne la régression des caroncules utérines et est corrélée au degré d'involution utérine au cours des premières semaines suivant le vêlage. Cependant, l'amplitude de la diminution du flux sanguin n'est pas associée au taux de gestation. Elle augmente avec le numéro de lactation (1,18). De même, la rétention placentaire et la métrite puerpérale, l'inflammation

aiguë de l'endomètre s'accompagnent d'une augmentation du flux sanguin (11,18).

## L'utérus gravide

### Caractéristiques vasculaires

Une augmentation du flux sanguin au niveau de la corne utérine a été observée au cours des 21 premiers jours de la gestation, même si aucune méthode de diagnostic de gestation fondée sur ce seul critère n'a pu être développée (24). De même, une mesure de la perfusion lutéale ou de l'index de résistance de l'artère utérine de la corne gravide réalisée au 34<sup>ème</sup> jour de gestation, stade souvent adopté pour un constat de gestation, ne permet pas de présumer d'une mortalité embryonnaire (28).

On peut également observer que le flux sanguin de l'artère utérine augmente durant la deuxième moitié de la gestation et correspond à l'augmentation de son diamètre, davantage observée au niveau de la corne gravide que non-gravide (6). De plus, une diminution de ce diamètre est observée 2 jours avant la parturition ce qui laisse entrevoir la possibilité de la prévoir (35). Par ailleurs, le flux artériel utérin serait positivement corrélé avec le poids du veau à la naissance (16). Les oestrogènes à l'inverse de la progestérone sont du fait de leur effet vasodilatatoire positivement corrélés avec les paramètres du flux sanguin utérin. Cependant, cette corrélation serait absente pour le cortisol (35).

En ce qui concerne les placentomes, leurs caractéristiques échographiques obtenues par l'échographie B-mode sont relativement constantes au cours du dernier mois de gestation et seraient moins dépendantes de la concentration en stéroïdes que de changements enzymatiques et moléculaires liés à la maturation placentaire. La diminution de la perfusion du placentome pourrait être liée à la réduction de sa taille observée au cours du dernier mois de gestation (45).

### Facteurs de variation

La nutrition exerce un rôle essentiel sur la vascularisation utérine. Ainsi, des changements du flux sanguin utérin ont été observés chez des animaux soumis à des restrictions alimentaires au début et en milieu de gestation. Ils seraient corrélés aux changements de la vascularisation placentaire (29). Par ailleurs, la saison exercerait un effet sur le flux sanguin utérin de la corne gravide.

Ainsi, une augmentation au 7<sup>ème</sup> mois de gestation a été observée chez des génisses à viande accouchant au printemps par rapport aux autres saisons (10).

Les effets d'un stress thermique sur les caractéristiques échographiques (échelles de gris et écho-Doppler) du corps jaune, des placentomes et des artères ombilicales et utérines ont été étudiés chez des vaches Holstein vers le 100<sup>ème</sup> jour de gestation. Le corps jaune et les placentomes sont plus vascularisés et leur densité cellulaire diminue en période de stress thermique. Celui-ci serait sans effet sur le diamètre et les caractéristiques hémodynamiques des artères utérines et ombilicales (36).

## Les follicules

D'une manière générale, la fonction folliculaire est étroitement corrélée à son degré de vascularisation (51). Divers exemples peuvent être donnés.

- Des signes de vascularisation sont plus souvent détectés au niveau des follicules de diamètre compris entre 2,5 et 4 mm qui vont poursuivre leur croissance (34) : on peut y voir un intérêt pour décider ou non d'une superovulation (1).
- De même, le flux sanguin est plus élevé 1 à 2 j avant le moment où le follicule devient dominant c'est-à-dire quand son diamètre est de 9 à 10 mm (stade de la déviation) (3,13).
- Ce flux sanguin est également plus élevé au niveau du plus gros follicule dominant que du second (3,36).
- Il est plus élevé au niveau du follicule dominant de la première que de la seconde vague de croissance folliculaire. Il est également corrélé à son diamètre, au rapport des concentrations en oestrogènes : progestérone et à sa capacité d'ovuler (33).

- Une diminution du nombre de follicules antraux de diamètre  $\geq 2$  mm lors d'un protocole de synchronisation de l'oestrus contribue à augmenter le diamètre et le flux sanguin du follicule préovulatoire (9).

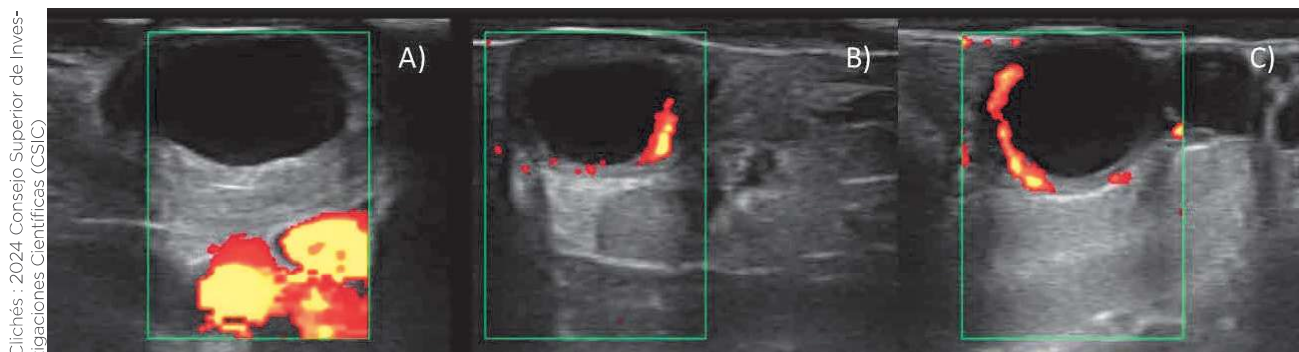
- L'identification d'une vascularisation au niveau du follicule preovulatoire laisserait supposer une ovulation dans les 6 à 18 heures suivantes mais les critères mériteraient d'être précisés (53) (**Figure 1**).

- La vascularisation du follicule dominant est corrélée à sa capacité à synthétiser de la progestérone après l'ovulation (38). L'augmentation de cette vascularisation constatée au moment du pic de LH (4,34) est associée à celle du pourcentage de gestation, conséquence possible de son effet favorable sur l'ovocyte, la qualité des cumulus oocyte complex (COC) étant proportionnelle au degré de vascularisation des follicules dont ils proviennent (37).

Les caractéristiques de vascularisation du follicule preovulatoire peuvent dépendre de facteurs hormonaux ou environnementaux. Ainsi, une augmentation du flux sanguin au niveau du follicule preovulatoire a été observée 30 min après l'injection de la GnRH (4). Cette augmentation serait corrélée à l'augmentation des oestrogènes (37). De même, le flux sanguin au niveau du follicule preovulatoire est significativement réduit lors de stress thermique tant chez la vache à viande (25) que laitière (22). L'écho-Doppler offre donc de réelles possibilités pour mieux comprendre les effets de traitements hormonaux appliqués aux vaches infertiles (51).

Pour le vétérinaire praticien, les variations de la vascularisation des follicules au cours du cycle sont plus difficiles à observer et nécessitent un suivi rapproché, peu compatible avec la pratique vétérinaire. Cependant, pour les vétérinaires qui apportent un service de type insémination artificielle (IA)

**Figure 1.** Images d'écho-Doppler au niveau d'un follicule préovulatoire 30 h (A), 18h (B) et 6 h (C) avant l'ovulation (53).



Clichés : 2024 Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

thérapeutique, ce critère pourrait être pris en compte pour évaluer la proximité de l'ovulation et la qualité du follicule et donc orienter la décision d'IA.

En ce qui concerne les kystes ovariens, les études relatives à leur vascularisation sont relativement peu nombreuses. Néanmoins, on a constaté que la vascularisation du kyste folliculaire est différente de celle du kyste lutéinisé. Ainsi, a-t-on observé que la vascularisation de la paroi du kyste folliculaire lutéinisé est moins proche de sa cavité que lors de kyste folliculaire (31).

## Le corps jaune

### Evolution du flux sanguin lutéal au cours du cycle

Après l'ovulation, le développement du corps jaune s'accompagne de l'augmentation de sa vascularisation (4,20). Le flux sanguin lutéal augmente ainsi progressivement entre le 2<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> jour du cycle et est multiplié par 1,5 entre les jours 7 et 15 du cycle (20,48). Il commence ensuite à diminuer entre le 13<sup>ème</sup> et le 17<sup>ème</sup> jour du cycle en cas de non gestation (2,5,46) (**Figures 2, 3**).

On a constaté qu'aux cours des jours 9 à 12 du cycle, le flux sanguin est un meilleur marqueur de la production de progestérone par le corps jaune que sa taille (19,20). Par ailleurs, le flux sanguin lutéal est 5 à 21 jours

après une insémination, systématiquement plus élevé chez les vaches gravides que non-gravides (17,21,27,46,48,49). Cette différence correspond d'ailleurs à une surface du corps jaune plus importante (17).

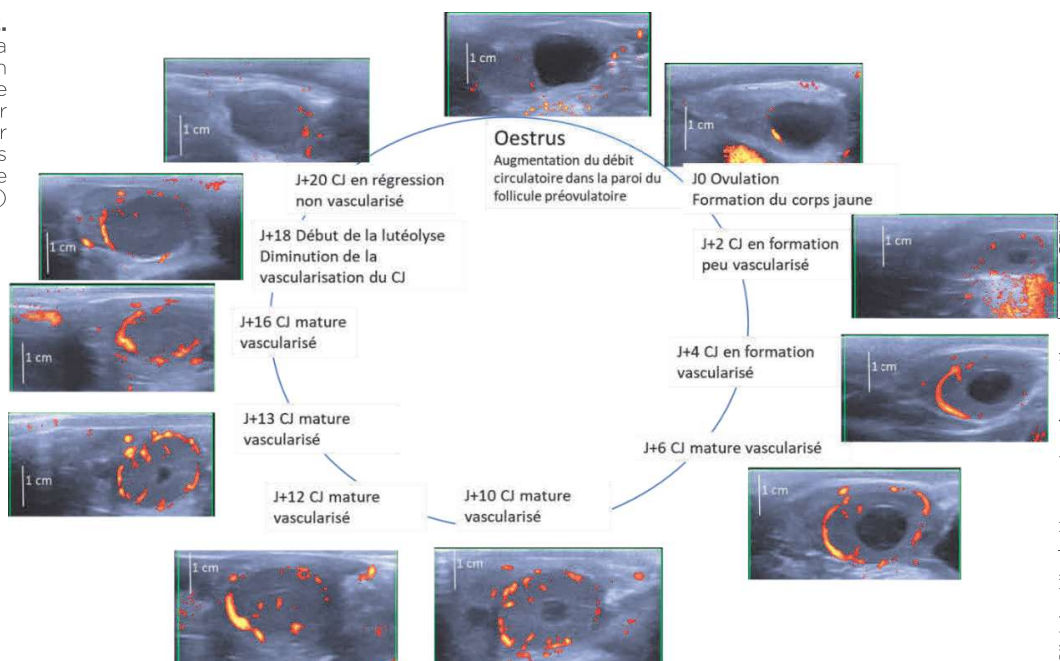
Lors de la lutéolyse, la perte de fonction du corps jaune précède de 2 jours tout changement morphologique visible à l'échographie (entre J16 et J18 en moyenne) (38) (**Figure 3**). Cette lutéolyse s'accompagne d'une augmentation marquée, mais transitoire (2 heures) du débit sanguin (15, 34, 56).

### Effet des hormones sur le flux sanguin lutéal

L'écho-Doppler a permis de confirmer l'absence d'effet lutéolytique du cloprostenol injecté au 4<sup>ème</sup> jour du cycle. Au 10<sup>ème</sup> jour du cycle, le délai d'apparition d'une lutéolyse complète est inversement proportionnel à la dose injectée (32). Une double injection à 24 heures d'intervalle de PGF2α s'accompagne au bout de 36 à 72 heures d'un flux sanguin lutéal moindre que celui observé après l'injection d'une seule PGF2α (47).

Lors d'un transfert d'embryon, l'injection d'hCG (150 UI) à la fin d'un traitement de synchronisation à base de progestérone chez les receveuses contribue à augmenter le score de perfusion enregistré par écho-Doppler au moment du transfert et par conséquent le pourcentage de gestation (42).

**Figure 2.** Evolution de la vascularisation du corps jaune (CJ) évaluée par écho-Doppler puissance au cours du cycle chez une génisse (38)



Clichés : Nicole Hagen ; Journées nationales des GTV

**Application de l'écho-Doppler à la sélection de receveuses**

Lors d'un transfert d'embryon, la qualité du corps jaune est un prerequisite à l'obtention d'une gestation. Son évaluation peut se faire par palpation manuelle, par échographie de type B-mode pour en mesurer le diamètre et/ou la surface ou mieux encore par écho-Doppler pour en mesurer le degré de vascularisation. Une receveuse ne devrait pas être sélectionnée pour un transfert si la surface de son corps jaune est inférieure à 2 cm<sup>2</sup> ou supérieure à 6 cm<sup>2</sup> (40).

L'évaluation de la progestéronémie le jour du transfert ne semble pas avoir une valeur prédictive de gestation élevée tant chez la vache laitière que chez la vache à viande (44,46). La mesure du flux sanguin sous la forme d'un score ou mieux encore de la détermination objective du pourcentage de la surface lutéale perfusée au moyen d'un logiciel doit être préférée à l'évaluation de la surface lutéale ou de la progestéronémie même si les seuils utilisés peuvent dépendre des réglages de l'appareil (12,39).

Chez la vache à viande de type *Bos indicus*, le pourcentage de la vascularisation lutéale est significativement supérieur chez la vache gravide (48,56 ± 0,64) que non-gravide (46,36 ± 0,77), les surfaces lutéales et la concentration en progestérone étant par ailleurs comparables même si elles augmentent avec le degré de perfusion lutéale. Ces auteurs recommandent de n'effectuer un transfert d'embryon que si le % de perfusion lutéale est supérieur à 40 % (39). Le cas non échéant, les receveuses pourraient faire l'objet d'un apport complémentaire de progestérone (49). Chez la vache laitière, la surface de vascularisation lutéale est significativement supérieure chez les animaux gravides que non-gravides tant au 7<sup>ème</sup> (0,54 ± 0,04 cm<sup>2</sup> vs. 0,38

± 0,02 cm<sup>2</sup>) qu'au 14<sup>ème</sup> jour (0,80 ± 0,23 cm<sup>2</sup> vs. 0,52 ± 0,22 cm<sup>2</sup>) suivant l'œstrus. Les valeurs seuils permettant de prédire la possibilité de gestation étaient respectivement de 0,43 cm<sup>2</sup> au jour 7 et de 0,56 cm<sup>2</sup> au jour 14, les sensibilités et spécificités étant respectivement de 79,4% et 75,0% et de 88,2% et 79,2% (26).

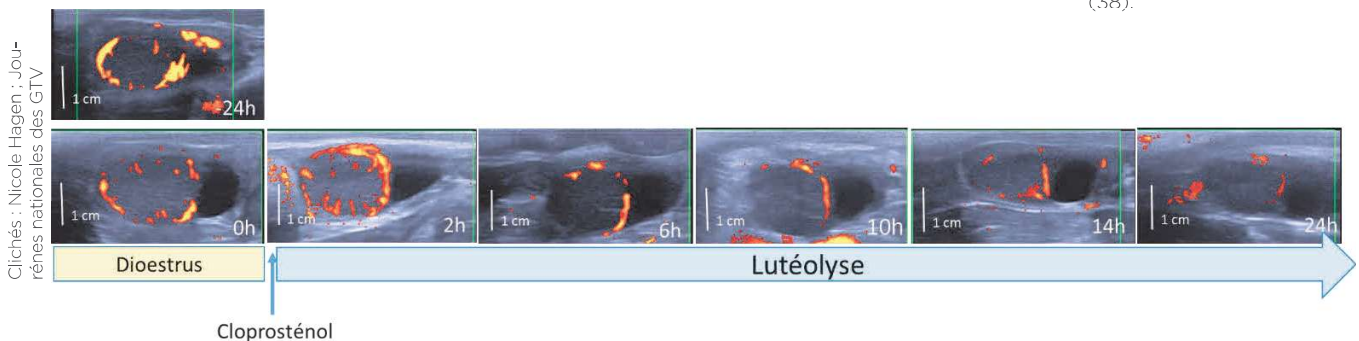
L'écho-Doppler semble donc devoir être préféré au dosage de la progestérone le jour du transfert (44).

**Conclusions**

L'écho-Doppler est une nouvelle technologie qui offre de réelles possibilités pour caractériser le flux sanguin des différentes structures utérines et ovariennes.

Pour le vétérinaire praticien, elle permet d'optimiser la gestion de la reproduction et plus particulièrement de rationaliser l'utilisation des prostaglandines F2 alpha ou encore la sélection des receveuses dans le cadre du transfert d'embryons. Il semble bien que la mesure de la surface du corps jaune indépendamment de la présence d'une cavité doive être préférée à la mesure de son diamètre. L'évaluation de la vascularisation du corps jaune par écho-Doppler constitue un examen complémentaire à celui réalisé par l'échographie B-mode. Cependant, il est clair que le gain d'informations apporté par l'écho-Doppler comparativement à l'échographie est moins important que l'avancée des connaissances en reproduction bovine permises il y a maintenant plus de 30 ans, par l'échographie. Compte tenu de l'investissement, des réglages préalables et de l'expérience nécessaires, l'écho-Doppler ne constitue pas à l'heure actuelle un outil indispensable pour le praticien spécialisé en reproduction bovine.

**Figure 3.** Evolution temporelle de la vascularisation du corps jaune, évaluée par écho-Doppler en mode puissance, au cours de la lutéolyse induite par une administration de cloprosténol à une génisse (38).



## BIBLIOGRAPHIE

- 1** - ABDELNABY EA. Hemodynamic changes evaluated by Doppler ultrasonographic technology in the ovaries and uterus of dairy cattle after the puerperium. *Reprod Biol.* 2020;20(2):202-209. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2020.03.001>
- 2** - ABDELNABY EA, ABO EL-MAATY AM, RAGAB RSA, SEIDA AA. Dynamics of uterine and ovarian arteries flow velocity waveforms and their relation to follicular and luteal growth and blood flow vascularization during the estrous cycle in Friesian cows. *Theriogenology*; 2018; 121:112-121. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.08.003>
- 3** - ACOSTA TJ, HAYASHI KG, MATSUI M. Changes in follicular vascularity during the first follicular wave in lactating cows. *J.Reprod.Dev.* 2005;51:273-80.
- 4** - ACOSTA TJ, HAYASHI KG, OHTANI M, MIYAMOTO A. Local changes in blood flow within the preovulatory follicle wall and early corpus luteum in cows. *Reproduction*.2003;125:759-767.
- 5** - ACOSTA TJ, YOSHIZAWA N, OHTANI M, MIYAMOTO A. Local changes in blood flow within the early and midcycle corpus luteum after prostaglandin F2a injection in the cow. *Biol.Reprod*.2002; 66:651-658.
- 6** - BOLLWEIN H, BAUMGARTNER U, STOLLA R. Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow in cows during pregnancy. *Theriogenology*.2002;57:2053-61. [https://doi.org/10.1016/S0093691X\(02\)00706-9](https://doi.org/10.1016/S0093691X(02)00706-9)
- 7** - BOLLWEIN H, MEYER HH, MAIERL J, WEBER F, BAUMGARTNER U, STOLLA R. Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow. *Theriogenology.* 2000;53(8):1541-1552. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(00\)00296-x](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(00)00296-x)
- 8** - BOLLWEIN H, HEPPELMAN M, LUTTGENAU J. Ultrasonographic Doppler Use for Female Reproduction Management. *Vet.Clin.Food Anim.* 2016;32 :149-164 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.005>
- 9** - BONATO DV , FERREIRA EB, GOMES DN , BONATO FGC , DROHER RG, MOROTTI F , SENEDA MM. Follicular dynamics, luteal characteristics, and progesterone concentrations in synchronized lactating Holstein cows with high and low antral follicle counts. *Theriogenology.* 2022;179:223-229. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.12.006>
- 10** - CAIN AJ, LEMLEY CO, WALTERS FK, CHRISTIANSEN DL, KING EH, HOPPER RM. Pre-breeding beef heifer management and season affect mid to late gestation uterine artery hemodynamics. *Theriogenology*.2017; 87: 9-15.
- 11** - DEBERTOLIS L, MARI G, MERLO B, MERBACH S, SCHOON HA, IACONO E, BOLLWEIN H. Effects of induced endometritis on uterine blood flow in cows as evaluated by transrectal Doppler sonography. *J. Vet. Sci*.2016;17(2):189-197.<http://dx.doi.org/10.4142/jvs.2016.17.2.189>
- 12** - FONTES PLP, OOSTHUIZEN N. Applied Use of Doppler Ultrasonography in Bovine Reproduction. *Front. Anim. Sci.*2022;3:912854. <http://dx.doi.org/10.3389/fanim.2022.912854>
- 13** - GINTHER OJ, SIDDIQUI MA, BALDRIGHI JM, HOFFMAN MM. Effect of intraovarian proximity between dominant follicle and corpus luteum on dimensions and blood flow of each structure in heifers. *Theriogenology.* 2014;82(6):875-83. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.022>
- 14** - GINTHER OJ. How ultrasound technologies have expanded and revolutionized research in reproduction in large animals. *Theriogenology.* 2014b,81 :112-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.007>
- 15** - GINTHER OJ, SILVA LA, ARAUJO RR, BEG MA. Temporal associations among pulses of 13, 14-dihydro-15-keto-PGF2α, luteal blood flow, and luteolysis in cattle. *Biol.Reprod*.2007;76:506-513
- 16** - HARTMANN D, HONNENS A, PIÉCHOTTA M. Effects of a protracted induction of parturition on the incidence of retained placenta and assessment of uterine artery blood flow as a measure of placental maturation in cattle. *Theriogenology.* 2013;80:176-84.
- 17** - HASSAN M, ARSHAD U, BILAL M, SATTAR A, AVAIS M, BOLLWEIN H, AHMAD N. Luteal blood flow measured by Doppler ultrasonography during the first three weeks after artificial insemination in pregnant and non-pregnant *Bos indicus* dairy cows. *J.Reprod.Dev*.2019;65:29-36. <https://doi.org/10.1262/jrd.2018-084>
- 18** - HEPPELMANN M, WEINERT M, BROMMLING A. The effect of puerperal uterine disease on uterine involution in cows assessed by Doppler sonography of the uterine arteries. *Anim.Reprod.Sci.* 2014;143:1-7.
- 19** - HERZOG K, BOLLWEIN H. Application of Doppler ultrasonography in cattle reproduction. *Reprod.Dom. Anim.*2007; 42:51-58.
- 20** - HERZOG K, BROCKHAN-LÜDEMANN M, KASKE M, BEINDORFF N, PAUL V, NIEMANN H, BOLLWEIN H. Luteal blood flow is a more appropriate indicator for luteal function during the bovine estrous cycle than luteal size. *Theriogenology*.2010;73:691-7. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.11.016>
- 21** - HERZOG K, VOSS C, KASTELIC JP, BEINDORFF N, PAUL V, NIEMANN H, BOLLWEIN H. Luteal blood flow increases during the first three weeks of pregnancy in lactating dairy cows. *Theriogenology.* 2011;75(3):549-54. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.09.024>
- 22** - HONIG H, OFER L, KAIM M, JACOBI S, SHINDER D, GERSHON E. The Effect of Cooling Management on Blood Flow to the Dominant Follicle and Estrous Cycle Length at Heat Stress. *Theriogenology.* 2016;86:626-634. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.02.017>
- 23** - HONNENS A, NIEMANN H, PAUL V, MEYER HHD, BOLLWEIN H. Doppler sonography of the uterine arteries during a superovulatory regime in cattle Uterine blood flow in superovulated cattle. *Theriogenology.* 2008b; 70: 859-867
- 24** - HONNENS A, VOSS C, HERZOG K, NIEMANN H, RATH D, BOLLWEIN H. Uterine Blood Flow During

## BIBLIOGRAPHIE

- the First 3 Weeks of Pregnancy in Dairy Cows. *Theriogenology*.2008a;70:1048–1056. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008a.06.022>
- 25** - JITJUMNONG J; MOONMANEE T, SUDWAN P, MEKTRIRAT R, OSATHANUNKUL M, NAVANUKRAW C, PANATUK J, YAMA P, PIROKAD W, UKRIT W. Associations among Thermal Biology, Preovulatory Follicle Diameter, Follicular and Luteal Vascularities, and Sex steroid Hormone Concentrations during Preovulatory and Postovulatory Periods in Tropical Beef Cows. *Anim. Reprod. Sci.* 2020;213:106281. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106281>
- 26** - KANAZAWA T, SEKI M, IGA K. Early pregnancy diagnosis based on luteal morphology and blood flow on Days 17-21 post-artificial insemination in Japanese Black cattle. *Theriogenology*. 2022;181:69-78. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.01.002>
- 27** - KANAZAWA T, SEKI M, ISHIYAMA K, KUBO T, KANEDA Y, SAKAGUCHI M, IZAIKE Y, TAKAHASHI T. Pregnancy prediction on the day of embryo transfer (Day 7) and Day 14 by measuring luteal blood flow in dairy cows. *Theriogenology*. 2016;86(6):1436-1444. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.05.001>
- 28** - KELLEY DE, GALVÃO KN, MORTENSEN CJ, RISCO CA, EALY AD. Using Doppler ultrasonography on day 34 of pregnancy to predict pregnancy loss in lactating dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2017; 100(4):3266-3271. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11955>
- 29** - LEMLEY CO, HART CG, LEMIRE RL, KING EH, HOPPER RM. Maternal Nutrient Restriction Alters Uterine Artery Hemodynamics and Placentome Vascular Density in *Bos Indicus* and *Bos Taurus*. *J. Anim. Sci.* 2018 ;96 (11):4823–4834. <https://doi.org/10.1093/jas/sky329>
- 30** - LÜTTGENAU J, BOLLWEIN H. Evaluation of bovine luteal blood flow by using color Doppler ultrasonography. *Reproductive Biology*.2014;14:103–109.
- 31** - MATSUI M, MIYAMOTO A. Evaluation of ovarian blood flow by colour Doppler ultrasound: practical use for reproductive management in the cow. *Vet. J.*2009;181:232–240
- 32** - MINELA T, PURSLEY JR. Effect of cloprostenol sodium dose on luteal blood flow and volume measurements in Holstein heifers with both day-4 and day-10 corpora lutea. *J.Dairy Sci.* 2021a;104(8):9327-9339. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19933>
- 33** - MIURA R, HANEDA S, LEE HH. Evidence that the dominant follicle of the first wave is more active than that of the second wave in terms of its growth rate, blood flow supply and steroidogenic capacity in cows. *Anim.Reprod.Sci.* 2014;145: 114–22.
- 34** - MIYAMOTO A, SHIRASUNA K, HAYASHI KG. A potential use of color ultrasound as a tool for reproductive management: new observations using color ultrasound scanning that were not possible with Imaging only in black and white. *J.Reprod. Dev.* 2006;52:153–60.
- 35** - MURAT CAN DEMIR M, KAÇAR C, POLAT B. Evaluation of the relationship between placentome perfusion, échotexture, and endocrine changes in cows at the end of pregnancy. *Theriogenology*. 2022;194:83-91. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.09.022>
- 36** - NANAS I, BARBAGIANI M, DADOULI K, DOVOLOU E, AMIRIDIS GS. Ultrasonographic findings of the corpus luteum and the gravid uterus during heat stress in dairy cattle. *Reprod.Domest. Anim.* 2021 ;56(10):1329-1341. <https://doi.org/10.1111/rda.13996>
- 37** - PANCARCI SM, ARI UÇ, ATAKISI O, GÜNGÖR Ö, ÇİĞREMİŞ Y, BOLLWEIN H. Nitric Oxide Concentrations, Estradiol-17b Progesterone Ratio in Follicular Fluid, and COC Quality With Respect to Perifollicular Blood Flow in Cows. *Anim. Reprod. Sci.*2012;130:9–15. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.12.013>
- 38** - PICARD-HAGEN N, SAADA C, BOURDIOL Q, GAYRARD V, NOUVEL X. L'échodoppler, un outil de reproduction de précision pour le praticien en élevage bovin ? Journées Nationales des GTV: Nantes, 18-20 mai 2022, 547-551
- 39** - PINAFFI FLV, SANTOS ÉS, DA SILVA M G, FILHO M M, MADUREIRA E H, SILVA LA. Follicle and Corpus Luteum Size and Vascularity as Predictors of Fertility at the Time of Artificial Insemination and Embryo Transfer in Beef Cattle1. *Pesquisa Veterinaria Bras.* 2015 ;35,470–476. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2015000500015>
- 40** - PUGLIESI G, DALMASO DE MELO G, SILVA JB, CARVALHÉDO AS, LOPES E, DE SIQUEIRA FILHO E. Use of Color-Doppler Ultrasonography for Selection of Recipients in Timed-Embryo Transfer Programs in Beef Cattle. *Theriogenology*.2019;135:73–79. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.006>
- 41** - ROCHA CC, MARTINS T, CARDOSO BO, SILVA LA, BINELLI M, PUGLIESI G. Ultrasonography-accessed luteal size endpoint that most closely associates with circulating progesterone during the estrous cycle and early pregnancy in beef cows. *Anim.Reprod.Sci.*2019;201:12-21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.12.003>
- 42** - ROSSIGNOLO EAA, SILVA NCD, STOLF RL, CAVALIERI FLB, COLOMBO AHB, ANDREAZZI MA, SENEDA MM, MOROTTI F. Evaluation of hCG as gonadotropic support to timed embryo transfer protocol in beef cattle. *Theriogenology*.2023;195:24-30. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.10.004>
- 43** - SAMIR H, RADWAN F, WATANABE G. Advances in applications of color Doppler ultrasonography in the andrological assessment of domestic animals: A review. *Theriogenology* 161 (2021) 252-261 . <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.12.002>
- 44** - SILVA J, COSTA LL, ROBALO SJ. Plasma Progesterone Profiles and Factors Affecting Embryo-Fetal Mortality Following Embryo Transfer in Dairy Cattle. *Theriogenology*.2002;58:51–59. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)00906-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00906-8)

## BIBLIOGRAPHIE

- 45** - SINGH G, CHANDOLIA R, DUTT R, SAINI A, DALAL J, MALIK R. Trans-abdominal ultrasonography during second and third trimester in Murrah buffaloes. *Int. J. Livest. 30Res.*2017;1 : <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170426104230>
- 46** - SIQUEIRA LG, ARASHIRO EK, GHETTI AM, SOUZA ED, FERES LF, PFEIFER LF, FONSECA JF, VIANA JH. Vascular and morphological features of the corpus luteum 12 to 20 days after timed artificial insemination in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*2019;102:5612-22. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15853>
- 47** - UMAÑA SEDÓ SG, FIGUEIREDO CC, GONZALEZ TD, DUARTE GA, UGARTE MARIN MB, CRAWFORD CA, POHLER KG, CHEBEL RC, BILBY TR, BISINOTTO RS. Evaluation of luteolysis, follicle size, and time to ovulation in Holstein heifers treated with two different analogs and doses of prostaglandin-F2 $\alpha$ . *J. Dairy Sci.* 2022 ;105:5506–5518 <https://doi.org/10.3168/jds.2021-2148>
- 48** - UTT MD, JOHNSON GL, BEAL W E. The evaluation of corpus luteum blood flow using color-flow Doppler ultrasound for early pregnancy diagnosis in bovine embryo recipients. *Theriogenology.*2009;71:707–715. <https://doi:10.1016/j.theriogenology.2008.09.032>
- 49** - VELHO GDS, ROVANI MT, FERREIRA R, GASPERIN BG, DALTO AGC. Blood perfusion and diameter of bovine corpus luteum as predictors of luteal function in early pregnancy. *Reprod Domest Anim.* 2022;57(3):246-252. <https://doi:10.1111/rda.14046>
- 50** - VIANA JHM, ARASHIRO EKN, SIQUEIRA LGB, GHETTI AM, AREAS VS , GUIMARÃESCRB, PALHAO MP, CAMARGO LSA, FERNANDES CAC. Doppler ultrasonography as a tool for ovarian management. *Anim. Reprod.*2013;10:215-222.
- 51** - YAMA P, YADMAK C, SANGKATE M, JITJUMNONG J, UKRIT W, PROMSAO N, MONTHA N, SUDWAN P, MEKTRIRAT R, PANATUK J. In Vivo Follicular and Uterine Arterial Indices as an Indicator of Successful Hormonal Stimulation for Inactive Ovaries in Repeat-Breeder Crossbred Dairy Cows Using a Short-Term Progesterone-Based Programme. *Animals.* 2022;12: 292. <https://doi.org/10.3390/ani12030292>
- 52** - YÁÑEZ U, MURILLO AV, BECERRA JJ, HERRADÓN PG, PEÑA AI AND QUINTELA LA. Comparison between transrectal palpation, B-mode and Doppler ultrasonography to assess luteal function in Holstein cattle. *Front. Vet. Sci.*2023a;10:1162589. <https://doi:10.3389/fvets.2023.1162589>
- 53** - YANEZ U, ANTELO C, LOPEZ E, BECERRA JJ, HERRADON PG , PENA AI, QUINTELA LA. Use of B-mode and Power Doppler ultrasonography of the uterus and preovulatory follicle to predict ovulation time in Holstein cows after heat synchronization. *Spanish Journal of Agricultural Research.*2023b;22(1). <https://doi.org/10.5424/sjar/2024221-20759>



