

VALORACIÓN DEL FLUJO ARTERIAL DEL CORDÓN UMBILICAL EN FETOS CAPRINOS DE RAZA MURCIANO-GRANADINA MEDIANTE ECOGRAFÍA DOPPLER ESPECTRAL

Assessment of arterial flow of the umbilical cord in goat fetuses of the murciano-granadina race using spectral doppler ultrasonography

Martínez-Díaz S., García-Vázquez, F.A., Luongo C., Ruiz S.

Departamento de Fisiología. Facultad de Veterinaria, Complejo Espinardo. 30100. 2. Universidad de Murcia. Murcia. España.

Autor para correspondencia: Ruiz S: sruiz@um.es

Tipo artículo: Trabajo Fin de Grado

Enviado: 4 marzo 2022

Aceptado: 15 marzo 2022

RESUMEN

La raza Murciano-Granadina (M-G) es considerada la raza caprina más representativa de España y su sistema productivo presenta una elevada trascendencia. La ecografía ha demostrado ser un procedimiento de gran utilidad en reproducción animal para la detección y seguimiento de la gestación y la ecografía Doppler ha posibilitado obtener mediciones objetivas no invasivas del aporte vascular y la funcionalidad de diversos órganos y estructuras.

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación de las características hemodinámicas de la arteria umbilical en fetos caprinos de raza M-G empleando parámetros e índices Doppler para valorar la aplicabilidad de la ecografía Doppler en la evaluación de la vascularización fetal.

El estudio se llevó a cabo en 4 cabras gestantes M-G, pertenecientes al IMIDA, ubicadas en la Granja Docente Veterinaria. Los exámenes y mediciones de los parámetros Doppler en la arteria umbilical se llevaron a cabo una vez por semana entre los días 75 y 120 de gestación, suponiendo un total de 5 a 7 sesiones ecográficas en cada hembra.

Se analizaron los siguientes parámetros Doppler: velocidad sistólica máxima (PSV), velocidad diastólica final (EDV), velocidad media (VM), índice de resistividad (IR), índice de pulsatilidad (IP) y relación sístole/diástole (S/D) además, del pulso de la arteria umbilical (PA). PSV y VM se mantuvieron con valores similares, sin diferencias significativas, mientras que EDV aumentó con diferencias significativas en el periodo gestacional analizado. Los valores de IR, IP y S/D descendieron de forma continua y significativa. Los valores de PA variaron de forma significativa durante la gestación, alcanzado su máximo en el día 90 y llegando a su valor mínimo el día 120.

Los índices Doppler ofrecen gran precisión y pueden utilizarse con éxito para estudiar la perfusión sanguínea y los parámetros velocimétricos del cordón umbilical en fetos durante el periodo de gestación en cabras M-G.

Palabras clave: ultrasonografía, parámetros Doppler, gestación, cabra.

ABSTRACT

The Murciano-Granadina (M-G) breed is the most representative goat breed in Spain. Ultrasound has proven to be a very useful procedure in animal reproduction for detection and monitoring of pregnancy and Doppler ultrasound has made it possible to obtain non-invasive objective measurements of the vascular supply and the functionality of various organs and structures.

The objective of this work has been the evaluation of the hemodynamic characteristics of the umbilical artery in M-G goat fetuses using Doppler parameters and indices to assess the applicability of Doppler ultrasound in the evaluation of fetal vascularization.

The study was carried out in 4 pregnant goats M-G, belonging to IMIDA, located in the Veterinary Teaching Farm. Examinations and measurements of Doppler parameters in the umbilical artery were carried out once a week between days 75 and 120 of gestation, assuming a total of 5 to 7 ultrasound sessions in each female.

Doppler parameters analyzed were Peak Systolic Velocity (PSV), End Diastolic Velocity (EDV), Mean Velocity (MV), Resistive Index (RI), Pulsatility Index (PI), Systolic/Diastolic Ratio (S/D) and umbilical artery pulse (AP). PSV increased without significant differences until day 120 of gestation, when it reached its maximum value. EDV progressively increased significantly during pregnancy. MV of umbilical arterial flow remained with similar values, without significant differences between days of pregnancy, reaching its maximum value on day 120. Values of RI, PI and S/D ratio decreased continuously and significantly during the gestational period. AP values varied significantly during pregnancy, reaching the maximum on day 90 and minimum value on day 120 of pregnancy.

This study has shown that Doppler ultrasound is an effective, safe and repeatable tool that offers good accuracy to successfully analyze blood flow and velocimetric parameters of the umbilical cord during physiological changes and intrauterine development of the fetus throughout pregnancy in M-G goats.

Keywords: ultrasonography, Doppler parameters, pregnancy, goat.

INTRODUCCIÓN

La raza Murciano-Granadina (M-G) es considerada la raza caprina más tradicional y simbólica en España. Su nombre se debe a las provincias que han sido la cuna de esta raza, Murcia y Granada. Esta raza ganadera cosmopolita, clasificada oficialmente como Raza de Fomento y, de aptitud principalmente láctea, en la actualidad se encuentra distribuida ampliamente por la geografía española. También se extiende

por diversos países de Europa, África e incluso América del Sur (Pizarro, Landi, Navas, León, Martínez, Fernández, Delgado, 2019).

La cabra es una reproductora poliéstrica estacional de días cortos, por lo que la duración de la estación reproductiva se verá influida por factores climáticos como la temperatura y el fotoperiodo. La duración de la gestación puede variar entre 144 y 151 días, siendo habitualmente de unos 150 días y la prolificidad media de esta raza se sitúa en torno a 1.9 cabritos por

parto. Generalmente, se realiza un solo parto al año que suele ser contra estación y que coincide con la época que permitirá obtener mejores rendimientos económicos (Fernández, Gómez, Delgado, Adán, & Jiménez, 2010).

A pesar de la variedad de métodos que existen para determinar la gestación, el desarrollo de las tecnologías de imagen ha contribuido significativamente al avance en las técnicas de campo en reproducción animal. Por lo que, quizás, la ecografía sea el procedimiento más eficaz, seguro y menos invasivo para la detección de la gestación y el seguimiento de la misma en nuestras especies domésticas.

La ecografía es una técnica de imagen basada en ultrasonidos producidos por la vibración de cristales piezoeléctricos alojados en el interior de un transductor. A su vez, la vibración de los cristales es producida mediante pulsos eléctricos que son transmitidos en forma de ondas. Una parte de estas ondas, también conocidas como ecos, se propaga a través de los tejidos en forma de corriente eléctrica y se refleja en el transductor, representando una imagen ecográfica en la pantalla (Medan & Abd El-Aty, 2010). La aplicación de esta técnica para el examen del tracto reproductivo es de gran interés puesto que permite detectar ciertas anomalías como pseudogestaciones (hidrómetras), comunes en la especie caprina; asimismo, facilita información obstétrica como el número de fetos, la edad gestacional o la viabilidad fetal. Estos datos son de gran utilidad para adaptar el manejo reproductivo a las necesidades del rebaño y, de este modo, optimizar los rendimientos productivos y, por lo tanto, económicos (Galián, Peinado, Ruiz, Poto, Almela, Castillo, & Lozano, 2021).

Durante las últimas décadas han emergido nuevas tecnologías para el diagnóstico por imagen, un ejemplo de ello es la ultrasonografía Doppler. El efecto Doppler consiste en un fenómeno caracterizado por el desplazamiento de la frecuencia de la onda cuando la fuente que emite la onda se acerca o se aleja de la superficie reflectora. Cuando los ultrasonidos chocan con estruc-

turas estáticas (inmóviles), el eco reflejado presenta igual frecuencia que las ondas transmitidas. En cambio, cuando las ondas entran en contacto con superficies en movimiento, la frecuencia del eco reflejado es proporcional a la velocidad de la superficie reflectora. La diferencia entre la frecuencia de las ondas emitidas y la frecuencia de las ondas reflejadas es lo que se conoce como efecto Doppler y es proporcional a la velocidad de movimiento de la superficie reflectora (Viana, Arashiro, Siqueira, Ghetti, Areas, Guimarães, Palhao, Camargo, & Fernandes, 2013; Rubio, Tirapu, Gómez, & Zabalza, 2014).

En el caso del flujo de la sangre, las células sanguíneas en movimiento por el interior del vaso son las estructuras móviles que reflejarán las ondas de ultrasonido. En este sentido, cuando los eritrocitos se desplazan hacia el transductor, la frecuencia de los ecos reflejados es mayor que la de las ondas transmitidas, creando una imagen de flujo en color rojo. En cambio, cuando las células sanguíneas se alejan del transductor, la imagen formada consiste en un flujo en color azul, debido a que la frecuencia de las ondas reflejadas es inferior a la frecuencia de las ondas emitidas (Galián et al., 2021). Gracias a la representación del flujo en color, esta técnica ha sido utilizada, por ejemplo, para evaluar el flujo sanguíneo uterino (Acharya, Sitrans, Erkinaro, Mäkikallio, Kavasmaa, Pääkilä, Huhta, & Räsänen, 2007) y testicular (Velasco & Ruiz, 2020), así como para diagnosticar folículos ováricos quísticos en vacuno (Rauch, Krüger, Miyamoto, & Bollwein, 2008), entre otras muchas más aplicaciones.

Debido a estas características, el empleo de ecografía Doppler posibilita la identificación del movimiento de células haciendo posible la caracterización y medición del flujo sanguíneo. De esta manera, puede ser empleada para evaluar tanto cuantitativa como cualitativamente la irrigación y funcionalidad de diferentes órganos, como, por ejemplo, el cordón umbilical.

La representación cualitativa de la señal Doppler se realiza mediante Doppler color y

Power Doppler (Doppler de potencia). Sin embargo, para la representación cuantitativa de la señal Doppler se emplea el Doppler Espectral que muestra una imagen en forma de gráfico analizando la velocidad del flujo en función del tiempo y la configuración de la onda producida refleja la hemodinámica del vaso examinado, por lo que permite un estudio de la distribución del flujo y de la forma de la onda de un vaso sanguíneo, proporcionando información sobre la velocidad del flujo y los índices de resistencia (IR) y de pulsatilidad (IP) de los vasos sanguíneos analizados (Viana et al., 2013; Rubio et al., 2014).

Diferentes investigadores han descrito resultados sobre esta técnica en diferentes especies. En pequeños rumiantes, la ecografía Doppler se ha empleado principalmente en reproducción para el examen del sistema reproductor y la valoración del desarrollo fetal (Bartlewski, 2019). Esta herramienta ha logrado la posibilidad de realizar mediciones objetivas no invasivas del flujo sanguíneo y del aporte sanguíneo arterial de un órgano mediante Doppler color y Doppler espectral, respectivamente.

Durante los últimos años, la ecografía transabdominal Doppler ha tenido un papel relevante en el examen obstétrico de los vasos sanguíneos feto-maternales más comunes, como el cordón umbilical, el ductus venoso, la aorta fetal y las arterias útero-placentarias, por lo que esta técnica ha sido cada vez más aplicada en la investigación de la fisiología fetal. Además, el registro de los parámetros Doppler (PSV, EDV, IR e IP) de la arteria umbilical es, actualmente, un método empleado frecuentemente para la vigilancia prenatal del feto. Por otra parte, las pulsaciones de la arteria umbilical son bastante utilizadas como marcadores de la funcionalidad cardíaca y de la salud y desarrollo fetal (Serin, Gökdal, Tarimcilar, & Atay, 2010).

El cordón umbilical en pequeños rumiantes es un haz de vasos sanguíneos compuesto por dos arterias y dos venas umbilicales y se encuentra flotando en el líquido amniótico que ro-

dea al feto (Elmetwally & Meinecke-Tillmann, 2018). El flujo sanguíneo entre la placenta y el cordón umbilical permite el transporte de nutrientes, gases y desechos entre la madre y el feto, favoreciendo el crecimiento y metabolismo fetal (Brüssow, Kurth, Vernunft, Becker, Tuchscherer, & Kanitz, 2012). Así pues, la vascularización del cordón umbilical garantiza el suministro de sangre al feto, adaptándose a cambios hemodinámicos durante la gestación (Kumar, Chandolia, Kumar, Jangir, Luthra, Kumari, & Kumar, 2015).

El flujo del cordón umbilical fue el primero en ser evaluado mediante ecografía Doppler en Medicina humana y ha sido estudiado en diferentes especies debido a su importancia para el desarrollo intrauterino del feto. Las ondas formadas por el flujo arterial poseen un aspecto característico de dientes de sierra debido a que en cada ciclo cardíaco se produce un pico sistólico y uno diastólico, mientras que las ondas formadas por el flujo venoso describen un patrón continuo, sin evidencia de pulsaciones (Nicolaidis, Rizz, Hecher, & Ximenes, 2002).

En Medicina veterinaria, las primeras mediciones del flujo sanguíneo umbilical en pequeños rumiantes se llevaron a cabo mediante procedimientos invasivos, suponiendo, en muchos casos, la exteriorización del feto (Barcroft, Flexner, & McClurkin, 1934). Sin embargo, el progreso en las técnicas de imagen he hecho posible el estudio de numerosas estructuras mediante métodos no invasivos. Se han llevado a cabo proyectos para determinar la precisión de la medición del flujo sanguíneo mediante ecografía Doppler no invasiva en comparación con la medición mediante un método invasivo del flujo sanguíneo (Acharya et al., 2007). Confirmando, de esta manera, que las mediciones realizadas con ambos métodos se correlacionaban satisfactoriamente y evidenciando que la medición Doppler no invasiva es capaz de proporcionar información clínicamente relevante para la evaluación del desarrollo y estado fetal.

No obstante, los índices Doppler han sido valorados en otras estructuras vasculares diferentes del cordón umbilical durante la gestación, como la vascularización placentaria y las arterias uterinas y ováricas. Bollwein, Heppelmann, & Lüttgenau (2016) describen un aumento del flujo sanguíneo de la arteria uterina al avanzar la gestación en ganado bovino y una disminución del IR durante los primeros ocho meses de gestación, para luego, permanecer en valores relativamente estables hasta el parto. Con respecto a la arteria uterina en pequeños rumiantes, Elmetwally, Rohn, & Meinecke-Tillmann (2016) describieron un aumento del flujo sanguíneo uterino en ovejas y cabras al término de la gestación, el PSV experimentó un incremento hasta el parto, mientras que la velocidad media disminuyó en ambas especies y, tanto la relación S/D como IR y IP se redujeron progresivamente a lo largo de la gestación.

Por otra parte, Petridis, Barbagianni, Ioannidi, Samaras, Fthenakis, & Vloumudi (2017) han documentado el examen ecográfico de la arteria más significativa de la ubre, la arteria pudenda externa, describiendo un aumento progresivo del flujo sanguíneo durante la lactogénesis, con su consiguiente descenso en la involución de la glándula mamaria. Pese a esto, existe una carencia de datos respecto a los parámetros del flujo sanguíneo de este vaso.

En cuanto al flujo sanguíneo del cordón umbilical, éste ha sido valorado en otras especies diferentes de pequeños rumiantes. Brüssow et al. (2012) describieron por primera vez el uso de la ecografía Doppler mediante laparoscopia para obtener índices relevantes del flujo sanguíneo de la arteria umbilical en fetos porcinos. Se describió una reducción del flujo sanguíneo al feto al aumentar el número de éstos. No se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a las velocidades de flujo (PSV) e IR, mientras que las variaciones en IP sí fueron significativas. La mayoría de los parámetros registrados en este estudio no difirieron entre fetos de diferentes tamaños. En la especie felina, Pereira, Pinto,

Freire, Campello, Domingues, & Machado Da Silva (2012) evaluaron el flujo sanguíneo tanto de los vasos fetales como maternos durante la gestación analizando los valores de PSV, EDV, IR e IP.

Respecto a la valoración del flujo del cordón umbilical en pequeños rumiantes, destacan las investigaciones realizadas en ovejas gestantes que han contribuido, en gran parte, a obtener hallazgos clínicos de la circulación feto-maternal en mujeres (Petridis et al., 2017). Tchirikov, Hecher, Deprest, Zikulnig, Devlieger, & Schröder (2001) llevaron a cabo un estudio en ganado ovino para determinar, mediante ecografía Doppler, los efectos en la circulación central del feto ovino al bloquear los vasos del cordón umbilical. En el trabajo realizado por Tchirikov, Strohner, Popovic, Hecher, & Schröder (2008), se midieron las variaciones del gasto cardíaco en los fetos ovinos tras la oclusión parcial del cordón umbilical para analizar los mecanismos de adaptación de los fetos ante una situación de insuficiencia placentaria. Thuring, Brännström, Ewerlöf, Hernandez-Andrade, Ley, Lingman, Liuba, Maršál, & Jansson (2013) analizaron la percepción auditiva de las señales Doppler de la arteria umbilical.

Serin et al. (2010) aportaron las primeras consideraciones sobre la valoración del flujo del cordón umbilical mediante ecografía Doppler en gestaciones únicas y múltiples en fetos caprinos de la raza Saanen, llevando a cabo un estudio de la arteria umbilical, con el propósito de monitorizar los fetos mediante los índices Doppler de la arterial umbilical y las frecuencias cardíacas fetales. No se registraron diferencias significativas al comparar IR e IP de gestaciones únicas y múltiples.

En publicaciones posteriores, Kumar et al. (2015) evaluaron las características de los vasos umbilicales en cabras gestantes de raza Beetal a partir de PSV, EDV, IR e IP. De igual manera, Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018), analizaron las características cualitativas y cuantitativas del flujo sanguíneo um-

bilical en ovejas y cabras gestantes mediante Doppler, concluyendo resultados similares para ambas especies.

El objetivo de este trabajo ha consistido en evaluar las características hemodinámicas de la arteria umbilical en fetos caprinos de hembras gestantes sanas de raza M-G, empleando los siguientes parámetros e índices Doppler: velocidad sistólica máxima (PSV), velocidad diastólica final (EDV), velocidad media (VM), índice de resistividad (IR), índice de pulsatilidad (IP), relación sístole/diástole (S/D) y pulso arterial (PA). Para, de esta manera, determinar el beneficio que presenta el empleo de la ecografía Doppler color y espectral en la evaluación de los vasos sanguíneos fetales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Todos los procedimientos de este estudio fueron aprobados por el Comité Ético del IMIDA. Durante los ensayos, los animales fueron manejados con cuidado evitando cualquier estrés innecesario y los experimentos se realizaron de acuerdo con las directrices y regulaciones pertinentes. El estudio se llevó a cabo de conformidad con las directrices ARRIVE (<https://arriveguidelines.org/>).

Animales

Este estudio se ha realizado en cuatro cabras gestantes sanas multíparas de raza M-G, dos de variedad caoba (Murciana) y otras dos de variedad negra (Granadina) pertenecientes al IMIDA (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental) y ubicadas en la Unidad de Caprino de la Granja Docente Veterinaria (GDV) de la Universidad de Murcia.

Las cabras seleccionadas se inseminaron artificialmente (IA) con semen congelado procedente de un macho cabrío reproductor de la misma raza y explotación ganadera. Una de ellas denominada, Animal 1, fue inseminada

con fecha 10/02/2021, y el resto, Animales 2, 3 y 4, 15 días más tarde (25/02/2021).

Las cabras objeto de estudio fueron analizadas para determinar la gestación a los 30 días post-IA, mediante ecografía abdominal, comprobándose la presencia de vesículas embrionarias anecogénicas, lo que relevaba su estado de gestación y posteriormente, se apartaron del resto del rebaño, para facilitar su manejo e identificación para las siguientes sesiones de ecografía.

Los animales se mantuvieron en estabulación, recibiendo todos ellos la misma alimentación, tanto durante el período de secado como durante la gestación. Durante el secado previo al presente estudio, se suministraba una alimentación consistente en pienso complementario (600 g) junto con la ración de forraje (250 g de alfalfa seca y 1 kg de paja). Por otro lado, durante la gestación se mantuvo la ración de forraje administrada, pero en la ración de concentrado se suministró un pienso suplementado para cubrir tanto las necesidades de mantenimiento como las de gestación y posterior lactación.

Metodología y exámenes ecográficos

Los exámenes ecográficos se han realizado en las instalaciones de la Unidad de Caprino de la GDV de la Universidad de Murcia. Todos ellos se han llevado a cabo empleando el ecógrafo General Electric Voluson® 730 PRO (GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, EEUU) provisto con una sonda abdominal sectorial (2-7 MHz, modelo 901, AB2-7) con una disposición de los cristales piezoeléctricos en forma convexa, para favorecer el contacto con la superficie a explorar en el animal.

Los animales se sometieron a un seguimiento ecográfico transabdominal una vez a la semana, desde los 2.5-3 hasta los 4 meses de gestación, es decir, un mes antes de la fecha prevista de parto. Para el animal 1, los exámenes ecográficos se iniciaron el día 90 post-IA,

continuando los días 98, 105, 113 y 120, con un total de 5 sesiones de ecografía. En los animales 2, 3 y 4, el primer examen ecográfico se realizó el día 75 post-IA y continuaron los días 84, 90, 98, 105, 113 y 120, con un total de 7 sesiones de ecografía.

Para la realización de los exámenes, las cabras se situaban en una habitación o sala apartada. Para la inmovilización de los animales se ha utilizado una camilla de sujeción específica para pequeños rumiantes en la que se colocaban en decúbito supino. Esta camilla cuenta con un soporte para el cuello y la cabeza y con un sistema para sujetar las extremidades anteriores y posteriores. Los estudios ecográficos se llevaron a cabo sin necesidad de administrar ningún tipo de sedación. Para comenzar, se requirió la preparación previa de los animales mediante afeitado del pelo de la zona inguinal próxima a la glándula mamaria utilizando una máquina de afeitar eléctrica y limpieza de la zona. Posteriormente, se aplicó gel acústico para eliminar el aire que pudiera existir entre el transductor y la región corporal y favorecer la transmisión del ultrasonido a través de las estructuras. En la figura 1 se puede apreciar la posición del animal en la camilla de exploración

y el detalle de la colocación del transductor para llevar a cabo la exploración ecográfica.

Inicialmente, se realizaron exploraciones utilizando el modo B para localizar la estructura del cordón umbilical que se encuentra flotando en el fluido amniótico que rodea al feto y que, en pequeños rumiantes presenta un hecho anatómico especial, con la presencia de 4 vasos sanguíneos (dos arterias y dos venas umbilicales) y con una típica morfología de espiral (Elmetwally & Meinecke-Tillmann, 2018). Una vez localizado, se activan los modos Doppler color y Doppler espectral para realizar una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa del flujo sanguíneo de esta estructura. Mediante Doppler color se identificaron los vasos y el flujo sanguíneos, teniendo en cuenta el patrón de colores que indica la aproximación (rojo) o el distanciamiento (azul) del flujo sanguíneo con respecto a la posición del transductor (Figura 2).

Al mismo tiempo, el modo Doppler espectral permite discriminar entre las arterias y venas umbilicales. El gráfico espectral de una arteria se presenta en forma de onda según el pulso arterial en cada ciclo cardíaco, mostrando sístole y diástole; además, podemos escuchar



Figura 1. Disposición de la hembra caprina de raza M-G en la camilla de sujeción. Detalle de la orientación de la sonda transabdominal y situación del área de escaneo para el examen ecográfico.

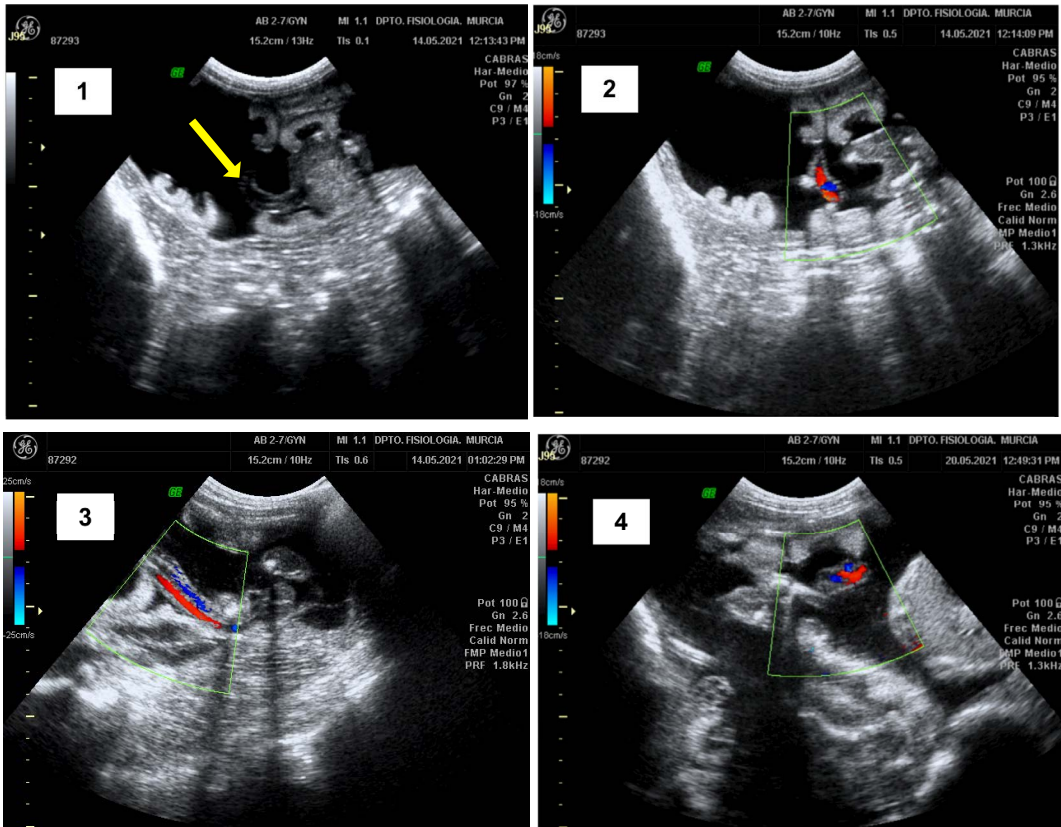


Figura 2. Imagen ecográfica modo B (1) y Doppler color del cordón umbilical (flecha amarilla), en secciones longitudinal (2 y 3) y transversal (4), de fetos caprinos M-G.

perfectamente en el ecógrafo el sonido característico del paso de la sangre por los vasos sanguíneos acompañado según la onda de pulso arterial. En cambio, las venas no presentan ningún patrón de pulso, puesto que su flujo es prácticamente constante, oyéndose un sonido peculiar de flujo continuo sin pulso definido.

Una vez localizada la arteria umbilical, se coloca el calibrador Doppler en la luz del vaso seleccionado, intentando no incluir la pared del vaso para evitar artefactos en la medida de lo posible. Al activar el modo Doppler espectral, el flujo sanguíneo arterial aparece representado gráficamente en la pantalla del ecógrafo en forma de ondas. En este estudio se realizó un

número variable de mediciones de ondas en cada examen que, como mínimo, debía ser de unas 5 mediciones por cabra gestante y día de ensayo, llegando en ocasiones a ser de hasta 15 mediciones por animal y día. La realización de cada examen tenía una duración aproximada de 20 minutos por hembra.

El flujo sanguíneo del cordón umbilical ha sido evaluado de forma semicuantitativa utilizando los denominados índices Doppler. Éstos describen la resistencia al flujo sanguíneo que presentan los vasos próximos al vaso estudiado y se trata de valores relativos que se obtienen a partir de los datos de Velocidad Sistólica Máxima (PSV), Velocidad Diastólica Final (EDV) y

Velocidad Media (VM) durante un ciclo cardíaco (Bollwein et al., 2016). Los valores de PSV reflejan la velocidad máxima de la sangre que circula a través de la luz del vaso examinado en una sístole, mientras que los valores de EDV se refieren a la velocidad de la sangre al final de un ciclo cardíaco, inmediatamente antes de una nueva sístole. La VM indica la velocidad de la sangre que circula a través de la luz vascular en un momento determinado. En cada examen ecográfico se recogieron los datos referentes a PSV, EDV y VM medidos en cm/seg. Estos valores nos permiten calcular el índice de Resistividad (IR) y el índice de Pulsatilidad (IP), aplicando las siguientes fórmulas:

- Índice de Resistividad: $IR = (PSV - EDV) / PSV$
- Índice de Pulsatilidad: $IP = (PSV - EDV) / VM$

El índice de Resistividad (IR) refleja indirectamente la resistencia que presenta el flujo sanguíneo para circular por la luz vascular, y por definición, asume el valor máximo del flujo sanguíneo, por lo que no permite la diferenciación con el flujo diastólico final que alcanza valores de cero. Este índice es adecuado para aquellos vasos en los que el flujo sanguíneo persiste durante la diástole.

El índice de Pulsatilidad (IP) hace referencia a la velocidad que presenta el flujo sanguíneo y se utiliza en aquellos tejidos que presentan reflujo de sangre durante la diástole y una elevada resistencia vascular. Es adecuado para aquellos vasos en los que el flujo está ausente durante la diástole. El IP puede variar de un ciclo cardíaco a otro debido a modificaciones en la frecuencia cardíaca fetal, por lo que deben obtenerse medidas de más de un ciclo (Beattie & Dornan, 1989).

Tanto IR como IP son independientes del ángulo, pero están influidos por la frecuencia cardíaca (Bollwein et al., 2016). Ambos índices aumentan cuando se produce una disminución de la perfusión sanguínea.

Durante el ensayo, se llevaron a cabo 5 exploraciones ecográficas en el animal 1 y 7 en los animales 2, 3 y 4, contabilizándose un total aproximado de casi 250 mediciones ecográficas válidas durante el desarrollo del estudio experimental para el total de animales y días de gestación analizados.

En los análisis ecográficos se obtuvieron además los datos relativos al ratio Sístole/Diástole (S/D), aportada directamente por el software del ecógrafo, y se analizaron los datos de Pulso de la arteria umbilical (PA) en número de pulsaciones/min, revisando el número de ondas de pulso detectadas en los 5 segundos de duración de cada ensayo ecográfico y obteniéndose la media del total de mediciones realizadas por animal y día de gestación.

Al final de cada examen ecográfico se recogieron las imágenes y vídeos obtenidos para la recopilación de los datos de cada sesión. Los datos recogidos fueron revisados posteriormente, descartándose aquellos que no proporcionaron suficiente información o eran irregulares debido a que habían sido tomados durante movimientos maternos y fetales. Seguidamente, los resultados correspondientes a los 7 parámetros analizados (PSV, EDV, VM, IR, IP, S/D y PA) se registraron en hojas Excel para su posterior tratamiento estadístico.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el software SAS University Edition (SAS, 2016). Todos los parámetros (PSV, EDV, VM, IR, IP, S/D y PA) se compararon con el modelo mixto del SAS para medidas repetidas. El modelo incluye la comparativa de los parámetros analizados a lo largo del tiempo de estudio (días 75, 84, 90, 98, 105, 113 y 120).

Se utilizó una estructura de covarianza autorregresiva de primer orden (AR1) para ajustar la diferencia en los datos de acuerdo con las diferencias a lo largo del tiempo. Los datos se expresaron como medias \pm error estándar de la

media. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$.

RESULTADOS

El cordón umbilical se identificó sin dificultad desde el primer examen ecográfico, puesto que éste se realizó el día 90 de gestación en el animal 1 y el día 75 en los animales 2, 3 y 4. No obstante, Kumar et al. (2015) indican que el cordón umbilical ya empieza a reconocerse desde el día 39 de gestación. De igual manera, Galián et al. (2021) describen la detección del flujo sanguíneo del cordón umbilical desde el día 35 de gestación. En la especie felina se ha descrito la detección del flujo sanguíneo en la arteria umbilical a partir del día 21 (Pereira et al., 2012).

La forma de la onda detectada mediante Doppler espectral indicó la presencia tanto de flujo arterial como venoso. El flujo sanguíneo en la arteria umbilical apareció representado mediante un patrón de dientes de sierra, mientras que el flujo en la vena umbilical mostró un patrón sinuoso y constante. En ambos casos, el patrón quedaba por encima o por debajo de la

línea de base según la dirección del flujo. En Doppler espectral, cuando el flujo se dirige hacia el transductor queda representado por encima de la línea de base, obteniéndose valores de PSV y EDV positivos, mientras que cuando el flujo se aleja del transductor éste se representa por debajo de la línea base con valores negativos (Figuras 3.1 y 3.2, respectivamente), ya se trate de arteria o vena umbilical. El Doppler color indica también la dirección del flujo sanguíneo de la arteria umbilical con respecto a la sonda, en color rojo acercándose, o en azul alejándose de la misma (Figuras 3.1 y 3.2, respectivamente).

Durante el estudio no se detectaron patrones de flujo arterial anormales en el cordón umbilical como flujo diastólico ausente o inverso, que indicaría un aumento de la resistencia vascular placentaria. Esto coincide con los trabajos realizados por Serin et al. (2010) y Kumar et al. (2015). Sin embargo, el último examen ecográfico presentó algunas dificultades referentes a la localización del cordón umbilical. Este hecho, podría deberse al aumento intrauterino del tamaño del feto y de los placentomas, así como al incremento de movimientos fetales.

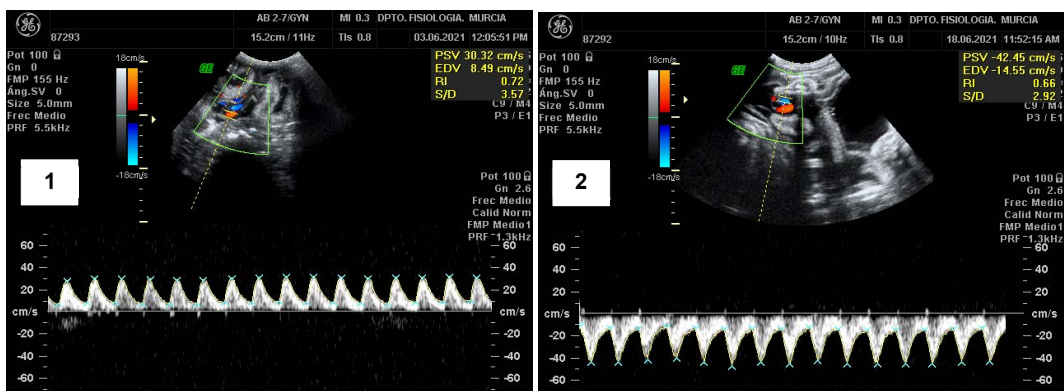


Figura 3. Ondas del flujo arterial umbilical mediante Doppler color y Doppler espectral en fetos caprinos de raza M-G. (1) Flujo que se dirige hacia el transductor con valores positivos por encima de la línea de base. (2) Flujo que se aleja del transductor con valores negativos por debajo de la línea base.

Tabla 1. Valores (media \pm error standard media (ESM)) de los parámetros analizados por ecografía Doppler del flujo sanguíneo de la arteria umbilical en fetos caprinos, entre los 75 y 120 días de gestación. (a,b,c): Diferentes íncides indican diferencias significativas.

Parámetros (media \pm ESM)	Días de gestación							P valor
	75	84	90	98	105	113	120	
PSV (cm/seg)	30.04 \pm 4.33	35.45 \pm 0.67	40.33 \pm 4.51	36.10 \pm 4.53	37.21 \pm 3.78	36.72 \pm 0.67	41.49 \pm 1.94	0.29
EDV (cm/sg)	5.84 \pm 1.26a	6.92 \pm 0.38a	8.84 \pm 0.56b	9.90 \pm 1.26b	10.10 \pm 1.47b	12.01 \pm 0.60c	14.29 \pm 0.33c	<0.001
VM (cm/seg)	17.94 \pm 2.63	21.19 \pm 0.52	24.58 \pm 0.94	23.00 \pm 3.10	23.66 \pm 3.26	24.36 \pm 0.73	27.89 \pm 0.64	0.06
IR	0.81 \pm 0.04a	0.80 \pm 0.01a	0.77 \pm 0.03ab	0.73 \pm 0.01b	0.73 \pm 0.02b	0.70 \pm 0.03ab	0.66 \pm 0.01c	0.01
IP	1.36 \pm 0.10a	1.34 \pm 0.02a	1.27 \pm 0.07a	1.14 \pm 0.01b	1.15 \pm 0.06b	1.06 \pm 0.04b	0.98 \pm 0.03bc	0.003
S/D	6.26 \pm 1.67a	5.32 \pm 0.25ab	4.68 \pm 0.55b	3.67 \pm 0.08b	3.80 \pm 0.40b	3.26 \pm 0.11bc	2.94 \pm 0.11bc	0.01
PA (pul/min)	207.50 \pm 2.78a	203.69 \pm 5.44a	211.45 \pm 10.2a	191.28 \pm 6.21b	184.13 \pm 1.48b	185.85 \pm 3.46b	183.56 \pm 3.12b	0.006

En la tabla 1 se relacionan los resultados de los parámetros obtenidos en cada uno de los días de exploración ecográfica, en el día 75 y 84 de gestación para 3 animales (cabras 2, 3 y 4) y en los días 90, 98, 105, 113 y 120 de gestación en el total de las 4 hembras del estudio (cabras 1 a 4). Se detallan los valores medios y el error estándar de la media (ESM) para cada día de gestación analizado.

En la figura 4 observamos la evolución de los parámetros analizados en nuestro estudio experimental entre los días 75 y 120 de gestación.

Las hembras sometidas a estudio parieron entre los 147 y 152 días de gestación. La cabra 1 (149 días) parió un cabrito macho variedad caoba, de la misma variedad de la raza M-G que su madre, con un peso de 2.9 kg y perfectamente sano y un cabrito mortinato. La cabra

2 (152 días) parió una hembra caoba con 3.1 kg. La cabra 3 (147 días) parió dos hembras variedad caoba con 2.4 y 2.3 kg. Tras 148 días de gestación, la hembra 4 parió dos hembras sanas, negra y caoba, de 2 y 2.6 kg de peso, respectivamente.

DISCUSIÓN

Respecto a la velocidad sistólica máxima (PSV), se observó un aumento de la misma desde el día 75 (30.04 \pm 4.33 cm/seg) al día 90 (40.33 \pm 4.51 cm/seg) de gestación, a partir de este día permaneció en unos valores prácticamente constantes hasta el día 120 de gestación, en el que alcanzó su valor máximo (41.49 \pm 1.94 cm/seg). Sin embargo, las variaciones de este parámetro a lo largo de la gestación no se consideran relevantes (p=0.29). Estos datos no coin-

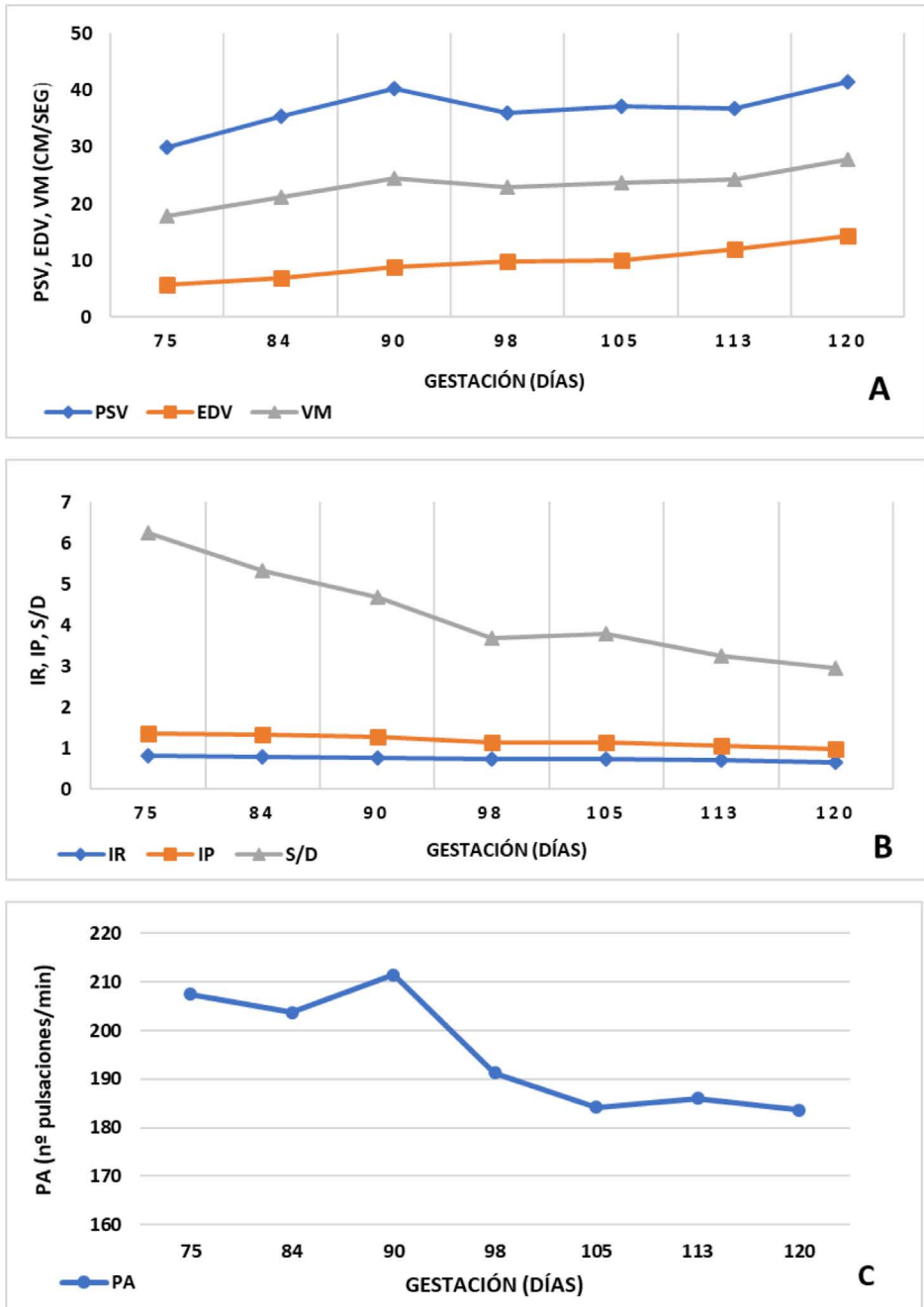


Figura 4. Evolución de los parámetros analizados en el estudio desde el día 75 al día 120 de gestación. **A:** Variación de PSV, EDV y VM. **B:** Evolución de IR, IP y S/D. **C:** Variación del PA de la arteria umbilical.

ciden con lo reportado en el trabajo de Kumar et al. (2015), en el que el valor de PSV sí que aumentó significativamente ($p < 0.05$) desde el día 39 al día 67 de gestación y experimentó un aumento mayor entre los días 98 y 120 de gestación. Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018) también han descrito el aumento significativo del valor de PSV con el avance de la gestación. Quizás, esta discrepancia pueda ser consecuencia de la diferencia entre edades y razas de los animales o debido a diferencias en el periodo de gestación estudiado.

Por otro lado, se observó un aumento progresivo de forma significativa ($p < 0.001$) de la velocidad diastólica final (EDV) durante la gestación, con valores de 5.84 ± 1.26 cm/seg, en el día 75 hasta alcanzar valores de 14.29 ± 0.33 cm/seg en el día 120 de gestación. En cambio, los datos documentados por Kumar et al. (2015) señalan un aumento no significativo de este parámetro desde el día 39 al 120 de gestación. No obstante, esta información tampoco ha sido descrita en otras investigaciones. Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018) señalaron la ausencia de EDV entre las semanas 4 y 8 de gestación, así como su aparición en la semana 12, tras la cual aumentó con el avance de la misma. Se presume que la aparición de EDV podría asociarse con la reducción de la frecuencia cardíaca fetal y con la estabilidad de los ciclos cardíacos fetales.

En cuanto a la velocidad media (VM) del flujo arterial umbilical se mantuvo con valores similares durante el periodo de gestación analizado, alcanzando su valor máximo (27.89 ± 0.64 cm/seg) el día 120 de gestación ($p = 0.06$). Los valores de VM fueron inferiores a los descritos en la arteria umbilical de fetos ovinos por Acharya, Erkinaro, Mäkikallio, Lappalainen, & Rasanen (2004), los cuales oscilaron entre 36.7 ± 9.2 y 41.1 ± 10.1 cm/seg. Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018) manifiestan un aumento significativo de VM (47.13 ± 5.46 cm/seg en ovejas y 43.22 ± 2.41 cm/seg en cabras) en la semana 19 de gestación, para luego disminuir

en la semana 20 (37.88 ± 4.25 cm/seg en ovejas y 33.56 ± 0.87 cm/seg en cabras) hasta el parto.

La relación Sístole/Diástole (S/D) disminuyó progresivamente de forma significativa ($p = 0.01$) a lo largo de la gestación. En la especie caprina, esta situación también se ha documentado en la publicación de Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018), que describieron una disminución de este parámetro hasta la semana 19 (133 días) de gestación, tras la cual se produjo un aumento de los valores de éste. Este parámetro indica la variación de la EDV, siendo indicativo del crecimiento fetal intrauterino normal y el desarrollo fetoplacentario al final de la gestación. La disminución de la relación S/D sugiere una disminución de la resistencia vascular y un aumento de la perfusión vascular al feto para cubrir sus requerimientos.

Finalmente, los resultados referentes al pulso de la arteria umbilical (PA) revelaron un valor máximo el día 90 de gestación (211.45 ± 10.24), que posteriormente, fue disminuyendo moderadamente hasta alcanzar su valor más bajo en el día 120 con valores de 183.56 ± 3.12 pulsaciones/min ($p = 0.006$). Serin et al. (2010) registraron la frecuencia cardíaca fetal (FCF), estrechamente relacionada con el pulso de la arteria umbilical. Dicho estudio expone un descenso de los valores de FCF, pero no de forma significativa hasta las dos últimas semanas de gestación. En concreto, en el día 120 de gestación, el valor medio de FCF se sitúa entre 150 y 200 latidos/min (aproximadamente, 180 latidos/min).

Los índices de resistividad (IR) y pulsatilidad (IP) son comparables entre los mismos vasos, y probablemente, entre razas (Brüssow et al., 2012). Por esta razón, se han evaluado en numerosos estudios aplicados a vasos sanguíneos diferentes del cordón umbilical y en especies distintas a la caprina.

En el presente estudio, los valores de IR descendieron de forma continua y significativa ($p = 0.01$) en el periodo gestacional, manteniéndose entre valores de 0.66 y 0.81. En el estudio realizado por Serin et al. (2010) también se

expone la disminución de dicho índice, con descensos significativos en los días 85 y 130 de gestación y un valor medio de IR que se mantuvo en 0.97 durante la gestación. La disminución de este índice podría ser consecuencia del incremento de las necesidades del feto debido a su rápido crecimiento, favoreciendo el descenso de la resistencia de los vasos umbilicales, para que, de esta manera, aumente el flujo sanguíneo del cordón umbilical. Sin embargo, los datos aportados por Kumar et al. (2015) difieren de los anteriores, puesto que reflejan una disminución no significativa de los valores de IR. Estos resultados contradictorios pueden derivar de diferencias entre las razas caprinas sometidas a estudio o a la diferencia del ángulo del transductor en el momento del examen ecográfico.

Asimismo, el índice de pulsatilidad (IP) también experimentó un descenso significativo ($p=0.003$) a lo largo de la gestación. Serin et al. (2010) han informado que los valores de IP aumentaron significativamente entre los 40 y 55 días de gestación y que experimentaron una reducción significativa a los 85 días de gestación, donde alcanzaron una etapa de meseta que se mantuvo hasta el parto. Kumar et al. (2015) coinciden con los datos aportados por Serin et al. (2010), reportando un aumento significativo del valor de IP entre los días 39 y 60 de gestación, y un posterior descenso significativo a los 90 días de gestación.

La disminución de estos índices junto con la ratio S/D, a medida que avanza la gestación, se produce como consecuencia de la reducción de la resistencia vascular umbilical para poder incrementar el flujo sanguíneo umbilical al feto, y así, cubrir los requerimientos del mismo en las etapas finales de la vida intrauterina.

En las gestaciones humanas, Gupta, Qureshi, & Samal (2008) observaron una disminución progresiva tanto del IR como del IP debido al incremento de la perfusión sanguínea fetal al avanzar el embarazo. Serin et al. (2010) determinaron que los valores de IR son más

estables que los valores de IP en los fetos caprinos. Elmetwally & Meinecke-Tillmann (2018) describieron un descenso de IR y de IP hasta la semana 19 de gestación, tras la cual se produjo un aumento de los valores de dichos índices hasta el final de la gestación. Según estos autores, este aumento tras la semana 19 de gestación puede ser debido a una disminución de la tasa de crecimiento fetal, que causa una reducción del flujo sanguíneo y de la tensión de oxígeno de la sangre fetal. Pereira et al. (2012) también puntualizaron un descenso de IR e IP de la arteria umbilical a lo largo de la gestación.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que la ecografía Doppler es una herramienta eficaz, segura y repetible que, ofrece una buena precisión para estudiar con éxito la perfusión sanguínea y los parámetros velocimétricos del cordón umbilical durante los cambios fisiológicos y el desarrollo intrauterino del feto a lo largo de la gestación en cabras de raza M-G.

Durante el periodo de estudio analizado (días 75 a 120 de gestación) no se observaron variaciones significativas de los parámetros velocidad sistólica final (PSV) y velocidad media (VM), mientras que se observó un aumento progresivo, de forma significativa, de la velocidad diastólica final (EDV) del flujo sanguíneo en la arteria umbilical de fetos caprinos.

Los valores del índice de resistividad (IR) y del índice de pulsatilidad (IP) del flujo arterial umbilical descendieron de forma continua y significativa durante el periodo gestacional analizado, como consecuencia de la reducción de la resistencia vascular umbilical para poder incrementar el flujo sanguíneo umbilical al feto, y así, cubrir los requerimientos del mismo en las etapas finales de la vida intrauterina. Por otro lado, los valores de la relación Sístole/Diástole (S/D) y del pulso arterial (PA) de la arteria umbilical disminuyeron significativamente de forma progresiva desde el día

75 al 120 de gestación, alcanzando ambos sus valores medios mínimos el día 120 de gestación, con 2.94 y 183.56 pulsaciones/min, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer la ayuda de los operarios de la Granja Docente Veterinaria, del responsable de la Unidad de Caprino del IMIDA, Dr. Angel Poto, y de los operarios de esta unidad en especial, a Miguel Angel Caja.

REFERENCIAS

- Acharya, G., Erkinaro, T., Mäkikallio, K., Lappalainen, T., & Rasanen, J. (2004). Relationships among Doppler-derived umbilical artery absolute velocities, cardiac function, and placental volume blood flow and resistance in fetal sheep. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 286(4), H1266–H1272. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00523.2003>
- Acharya, G., Sitras, V., Erkinaro, T., Mäkikallio, K., Kavasmaa, T., Päkikilä, M., Huhta, J.C., & Räsänen, J. (2007). Experimental validation of uterine artery volume blood flow measurement by Doppler ultrasonography in pregnant sheep. *Ultrasound Obstet. Gynecol.*, 29(4), 401–406. <https://doi.org/10.1002/uog.3977>
- Barcroft, J., Flexner, L.B., & McClurkin, T. (1934). The output of the foetal heart in the goat. *J. Phys.*, 82(4), 498–508. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1934.sp003202>
- Bartlewski, P. (2019). Applications of Doppler ultrasonography in reproductive health and physiology of small ruminants. XXIII Congresso Brasileiro de Reprodução Animal, Gramado, Brasil, pp. 122–125.
- Beattie, R.B., & Dornan, J.C. (1989). Antenatal screening for intrauterine growth retardation with umbilical artery Doppler ultrasonography. *Br. Med. J.*, 298(6674), 631–635. <https://doi.org/10.1136/bmj.298.6674.631>
- Bollwein, H., Heppelmann, M., & Lüttgenau, J. (2016). Ultrasonographic Doppler Use for Female Reproduction Management. *Vet. Clin. Food Anim.*, 32(1), 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.005>
- Brüssow, K.P., Kurth, J., Vernunft, A., Becker, F., Tuchscherer, A., & Kanitz, W. (2012). Laparoscopy guided Doppler ultrasound measurement of fetal blood flow indices during early to mid-gestation in pigs. *J. Reprod. Dev.*, 58(2), 243–247. <https://doi.org/10.1262/jrd.11-059t>
- Elmetwally, M., Rohn, K., & Meinecke-Tillmann, S. (2016). Noninvasive color Doppler sonography of uterine blood flow throughout pregnancy in sheep and goats. *Theriogenology*, 85(6), 1070–1079. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.11.018>
- Elmetwally, M.A., & Meinecke-Tillmann, S. (2018). Simultaneous umbilical blood flow during normal pregnancy in sheep and goat foetuses using non-invasive colour Doppler ultrasound. *Anim. Reprod.* 15(2), 148–155. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2017-976>
- Fernández, M., Gómez, M., Delgado, J., Adán, S., & Jiménez, M. (2010). Guía de campo de las raza autóctonas españolas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/1.1%20Gu%C3%ADa%20de%20campo%20de%20las%20razas%20aut%C3%B3ctonas%20espa%C3%B1olas._tcm30-120392.pdf
- Galián, S., Peinado, B., Ruiz, S., Poto, A., Almela, L., Castillo, J., & Lozano, S. (2021). Uso de la ecografía para el diagnóstico y seguimiento de la gestación en la cabra M-G. *Arch. de Zootec.*, 70(269), 104–111. <https://doi.org/10.21071/az.v70i269.5424>
- Gupta, U., Qureshi, A., & Samal, S. (2008). Doppler Velocimetry In Normal And Hypertensive Pregnancy. *J. Gynecol. Obs.*, 11(2), 1–6. <https://print.ispub.com/api/0/ispub-article/8940>

- Kumar, K., Chandolia, R.K., Kumar, S., Jan-gir, T., Luthra, R.A., Kumari, S., & Kumar, S. (2015). Doppler sonography for evaluation of hemodynamic characteristics of fetal umbilicus in Beetal goats. *Vet. World*, 8(3), 412–416. <https://doi.org/10.14202/vet-world.2015.412-416>
- Medan, M.S., & Abd El-Aty, A. (2010). Advances in ultrasonography and its applications in domestic ruminants and other farm animals reproduction. *J. Adv. Res.*, 1(2), 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2010.03.003>
- Nicolaides, K., Rizz, G., Hecher, K., & Ximenes, R. (2002). Doppler in Obstetrics. The Fetal Medicine Foundation. <https://fetalmedicine.org/var/uploads/Doppler-in-Obstetrics.pdf>
- Pereira, B.S., Pinto, J.N., Freire, L.M.P., Campello, C.C., Domingues, S.F.S., & Machado Da Silva, L.D. (2012). Study of the development of uteroplacental and fetal feline circulation by triplex Doppler. *Theriogenology*, 77(5), 989–997. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.10.005>
- Petridis, I., Barbagianni, M., Ioannidi, K., Samaras, E., Fthenakis, G., & Vloumidi, E. (2017). Doppler ultrasonographic examination in sheep. *Small Rumin. Res.*, 152, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.12.015>
- Pizarro, M.G., Landi, V., Navas, F.J., León, J.M., Martínez, A., Fernández, J., & Delgado, J.V. (2019). Does the Acknowledgement of α S1-Casein Genotype Affect the Estimation of Genetic Parameters and Prediction of Breeding Values for Milk Yield and Composition Quality-Related Traits in M-G? *Animals*, 9(9), 679. <https://doi.org/10.3390/ani9090679>
- Rauch, A., Krüger, L., Miyamoto, A., & Bollwein, H. (2008). Colour Doppler sonography of cystic ovarian follicles in cows. *J. Reprod. Dev.*, 54(6), 447–453. <https://doi.org/10.1262/jrd.20025>
- Rubio, I., Tirapu, M., Gómez, H., & Zabalza, J. (Eds.). (2014). *Ecografía Doppler: Principios básicos y guía práctica para residentes*. European Society of Radiology. <https://doi.org/10.1594/seram2014/S-0379>
- Serin, G., Gökdal, O., Tarimcilar, T., & Atay, O. (2010). Umbilical artery doppler sonography in Saanen goat fetuses during singleton and multiple pregnancies. *Theriogenology*, 74(6), 1082–1087. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.05.005>
- Tchirikov, M., Hecher, K., Deprest, J., Zikulnig, L., Devlieger, R., & Schröder, H.J. (2001). Doppler ultrasound measurements in the central circulation of anesthetized fetal sheep during obstruction of umbilical-placental blood flow. *Ultrasound Obstet. Gynecol.*, 18(6), 656–661. <https://doi.org/10.1046/j.0960-7692.2001.00467.x>
- Tchirikov, M., Strohner, M., Popovic, S., Hecher, K., & Schröder, H.J. (2008). Cardiac output following fetoscopic coagulation of major placental vessels in fetal sheep. *Ultrasound Obstet. Gynecol.*, 32(7), 917–922. <https://doi.org/10.1002/uog.5364>
- Thuring, A., Brännström, K.J., Ewerlöf, M., Hernandez-Andrade, E., Ley, D., Lingman, G., Liuba, K., Maršál, K., & Jansson, T. (2013). Operator auditory perception and spectral quantification of umbilical artery Doppler ultrasound signals. *PloS One*, 8(5), e64033. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064033>
- Velasco, A., & Ruiz, S. (2020). New Approaches to Assess Fertility in Domestic Animals: Relationship between Arterial Blood Flow to the Testicles and Seminal Quality. *Animals*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.3390/ani11010012>
- Viana, J.H.M., Arashiro, E.K.N., Siqueira, L.G.B., Ghetti, A.M., Areas, V.S., Guimarães, C.R.B., Palhao, M.P., Camargo, L.S.A., & Fernandes, C.A.C. (2013). Doppler ultrasonography as a tool for ovarian management. *Anim. Reprod.*, 10(3), 215–222