

5. ZUSAMMENFASSUNG

In bisherigen Untersuchungen über die Dickdarmmotorik des Schafes konnte die motorische Funktion nicht ausreichend geklärt werden. Daher sollte in dieser Arbeit die Funktion der Dickdarmmotorik durch Messung der mechanischen Aktivität und gleichzeitige Röntgenuntersuchung untersucht und beschrieben werden. Hierzu wurden bei sechs weiblichen Schafen der Rasse "Schwarzkopf-Merino" Dehnungsmeßfühler auf das Ileum, das Caecum, das proximale Colon und das Spiralcolon aufgenäht. Die Signale wurden mit Trägerfrequenzmeßbrücken verstärkt und mit Mehrkanalschreibern registriert. Zur Röntgenuntersuchung stand eine Röntgenbildverstärkeranlage zur Verfügung. Um in den zu untersuchenden Darmabschnitt Röntgenkontrastmittel infundieren zu können, wurden den Tieren Darmkatheter implantiert. Dieser Versuchsaufbau ermöglichte es, die Motorik am wachen Tier über Stunden zu registrieren und gleichzeitig ihre funktionelle Bedeutung für den Ingestafluß sichtbar zu machen.

Die Anordnung der Dehnungsmeßfühler wurde so gewählt, daß es möglich war, spezifische Motilitätsmuster des jeweiligen Darmabschnittes erkennen und auswerten zu können. Die Untersuchung der Motilitätsmuster des Ileums erfolgte anhand mehrerer dicht beieinander liegender Meßfühler. Mit Hilfe eines Computerprogrammes war es möglich, Kontraktionen in ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung zu quantifizieren und somit zwischen stationären und fortlaufenden Kontraktionen zu unterscheiden. Als fortlaufend galten Kontraktionen, die innerhalb eines bestimmten Zeitfensters an den benachbarten Meßstellen auftraten. Kontraktionen, die an benachbarten Meßstellen außerhalb des Zeitfensters auftraten, wurden als stationäre Kontraktionen angesehen. Am Dickdarm wurden ebenfalls mehrere Dehnungsmeßfühler aufgenäht. Der Abstand wurde jedoch größer als am Ileum gewählt, da die Kontraktionen mit einer geringeren Frequenz auftraten und somit die Differenzierung in stationäre und fortlaufende Kontraktionen auch bei größeren Meßfühlerabständen möglich war. Am Caecum und dem Anfangsteil des proximalen Colons wurde die Motorik sowohl auf aborale als auch auf retrograde Kontraktionswellen untersucht. Die Auswertung der Kontraktionen des Dickdarmes erfolgte teilweise mit Hilfe des Computerprogrammes, teilweise manuell, da besonders die an allen Dickdarmabschnitten auftretenden Riesenkontraktionen die Möglichkeiten des

Auswertungsprogrammes überschritten. Neben der Einteilung der Motorik in stationäre und fortlaufende Kontraktionen wurden weitere Motilitätsparameter ermittelt. Es wurden die Frequenz, mit der die verschiedenen Kontraktionsarten auftraten, die Kontraktionskraft und die Kontraktionsdauer bestimmt. Weiterhin wurden die fortlaufenden Kontraktionen, die sich als aborale oder retrograde Wellen über den Darm ausbreiteten, anhand ihrer Ausbreitungslänge und ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit näher charakterisiert. Am Ileum und am Spiracolocolon wurden der basale Kontraktionsabstand und somit die maximale Frequenz der Kontraktionen ermittelt. Weiterhin wurde der Motilitätsindex (mN/min) als Maßeinheit der motorischen Aktivität bestimmt.

Die Motorik des Ileums zeigte eine gleichbleibende Aktivität, die von drei unterschiedlichen Phasen gebildet wurde. Eine dieser Phasen war ein digestives, unregelmäßiges Motilitätsmuster, das sich durch kurze Aktivitätsperioden und Riesenkontraktionen auszeichnete. Unterbrochen wurde dieses Motilitätsmuster von einer zweiten Phase, die aus einem aboral wandern den motorischen Komplex (MMC) bestand. Nachfolgend erschien als drittes eine Pausenphase mit geringer motorischer Aktivität. Diese drei Phasen wiederholten sich zyklisch in meist regelmäßiger Reihenfolge. Eine Unterteilung der Ileummotorik in ein interdigestives und ein digestives Kontraktionsmuster ist aufgrund des beim Wiederkäuer nie leer werdenden Magen-Darm-Kanals nicht sinnvoll. Die wandern den motorischen Komplexe und die kurzen Aktivitätsperioden des digestiven Motilitätsmusters bestanden vorwiegend aus peristaltischen Wellen. Infolge der hohen Frequenz und der geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit der peristaltischen Wellen wurde der Chymus sowohl während des MMC als auch in den Aktivitätsperioden wie bei einer Perlenkette in kleine Boli unterteilt, die langsam nach aboral transportiert wurden. Der Chymustransport durch den Ileocaecal-Sphincter in den Dickdarm erfolgte durch diese Motorik mehr oder weniger kontinuierlich. Messungen der Transitzeiten ergaben, daß Darminhalt mit der größten Geschwindigkeit während eines MMC in den Dickdarm transportiert wurde.

Riesenkontraktionen zeichneten sich sowohl am Ileum als auch an den anderen Darmaechnitten durch ihre große Kontraktionskraft, ihre lange Kontraktionsdauer und eine ausgeprägte aborale Erschlaffung aus. Sie schnürten das Darmlumen

nahezu vollständig ein und transportierten als aboral fortschreitende Kontraktionen den Ileuminhalt ebenfalls in den Dickdarm.

Das Caecum und der Anfangsteil des proximalen Colons bildeten eine funktionelle Einheit. Die Motorik dieser beiden Dickdarmabschnitte war durch langanhaltende Aktivitätsphasen gekennzeichnet, die von peristaltischen und antiperistaltischen Wellen sowie von stationären Kontraktionen gebildet wurden. Außer peristaltischen Wellen traten hier, ähnlich wie am Ileum, Riesenkontraktionen auf, denen meist eine kurze Periode motorischer Inaktivität folgte. Die peristaltischen und antiperistaltischen Wellen begannen an verschiedenen Stellen des Caecums und des proximalen Colons und liefen über unterschiedlich lange Strecken. Sie führten zu einer kontinuierlichen Durchmischung der Ingesta. Die peristaltischen und antiperistaltischen Wellen schnürten das Darmlumen nur geringgradig ein, so daß es sowohl zu einem Transport der Ingesta in Ausbreitungsrichtung der Welle als auch zu einem gleichzeitigen Rückfluß mit kräftiger Durchmischung kam. Die aboral fortschreitenden Riesenkontraktionen schnürten dagegen aufgrund der großen Kontraktionskraft das Darmlumen nahezu vollständig ein. Demzufolge kam es zu einem Nettotransport von Darminhalt in aboraler Richtung. Wenn jedoch das zuvor stark eingeschnürte Darmlumen erschlaffte, erfolgte auch hier ein Rückstrom von Darminhalt. Die röntgenologischen Untersuchungen ergaben weiterhin, daß der Darminhalt im Caecum und dem Anfangsteil des proximalen Colons über mehrere Stunden verblieb und dort wie beschrieben durchmischte wurde. Aufgrund dieser gemeinsamen Funktion wurde der Bereich der ersten Windung des proximalen Colons als „Speichercolon“ beschrieben. Im Gegensatz zu vorangegangenen Untersuchungen konnte kein Zusammenhang zwischen der Ileum- und Caecummotorik hergestellt werden. Aboral fortschreitende Riesenkontraktionen des Caecums, die einen Chymustransport in das Colon bewirkten, zeigten keine zeitliche Beziehung zum MMC des Ileums.

Die Motorik des proximalen Colons aboral der ersten Windung bestand vorwiegend aus peristaltischen Wellen. Antiperistaltische Wellen konnten in diesem Abschnitt des Colons im Gegensatz zum Speichercolon weder registriert noch röntgenologisch beobachtet werden. Aufgrund dessen wurde dieser Teil des proximalen Colons als „Transportcolon“ beschrieben. Die peristaltischen Wellen führten zu einem kontinuierlichen Chymustransport in das Spiralcolon. Da peristaltische Wellen auch in

diesem Teil des Colons mit einem Rückfluß verbunden waren, führten sie zusätzlich zu einer Durchmischung des Darminhaltes. Außer den peristaltischen Wellen traten im Bereich des Transportcolons aboral fortschreitende Riesenkontraktionen auf, denen meist eine kurze Periode motorischer Inaktivität folgte. Die Riesenkontraktionen schnürten das Darmlumen sehr stark ein und transportierten eine größere Menge Darminhalt in Richtung Spiralcolon. Nachdem die Riesenkontraktionen ausgelaufen waren, setzte wiederum ein starker Rückstrom von Darminhalt ein. Messungen der Verweildauer von Darminhalt im Transportcolon ergaben eine Durchschnittszeit von 100 Minuten.

Die Motorik des Spiralcolons zeigte tonische Kontraktionen im Minutenrhythmus, denen frequente phasische Kontraktionen überlagert waren. Die tonischen Kontraktionen bewirkten langanhaltende Einschnürungen am Darm, die langsam nach aboral wanderten. Hierdurch wurde der Inhalt des Spiralcolons in viele kleine Boli unterteilt und langsam nach aboral weitergeschoben. Die überlagerten phasischen Kontraktionen im Sekundenrhythmus bewirkten eine gleichzeitige oberflächliche Durchmischung des Chymus. Diese Grundmotorik des Spiralcolons wurde zeitweise durch einzelne peristaltische Wellen und Riesenkontraktionen unterbrochen. Die peristaltischen Wellen setzten sich teilweise vom proximalen Colon kommend im Spiralcolon fort, teilweise entstanden sie im Spiralcolon selbst. Breitete sich eine fortlaufende Welle am Spiralcolon aus, lösten sich die Einschnürungen kurzfristig auf und Inhalt wurde schnell in aborale Richtung weitertransportiert. War die Welle ausgelaufen, setzten die Segmentationen an dem zuvor erschlafften Darmteil wieder ein. Teilweise liefen Wellen vom Beginn der Spirale bis in die letzte zentrifugale Windung hinein. Messungen der Verweildauer von Darminhalt im Spiralcolon ergaben, daß dieser durchschnittlich 75 Minuten in diesem Teil des Dickdarmes verblieb.

In dieser Arbeit wurden Kontraktionen am Ileum und am Dickdarm des Schafes in ihrem räumlichen und zeitlichen Auftreten quantifiziert. Ein Vergleich der Darmmotorik mit der anderer Tierarten zeigte, daß dieselben Grundmuster der Motorik sowohl bei herbivoren und bei carnivoren Monogastriern als auch bei Wiederkäuern zu finden sind, daß jedoch die Ausprägung der Kontraktionsmuster unterschiedlich ist und sich die Wirkung der Motorik auf den Ingestafluß erheblich unterscheidet.

Monika Bedrich

Function of Large Intestinal Motor Activity of Sheep —

Recording of Motor Activity and X-Ray Examination of Transit of Chyme in the Ileum, Caecum and Colon

6. SUMMARY

Previous investigations on motility of the large intestine of sheep did not provide satisfactory explanations for the motor function. Therefore, the aim of this study was to elucidate the function of the motor activity of the large intestine by measuring the mechanical activity accompanied by videofluoroscopy. To achieve this, strain-gauge transducers were chronically implanted on to the ileum, caecum, proximal colon and spiral colon in six female sheep of the blackhead-merino breed. The signals of the transducers were amplified by Wheatstone bridges and recorded by multichannel polygraphs. An X-ray-image-intensifier was used for videofluoroscopy. By means of implanted catheters, contrast medium was infused into that intestinal segment that should be investigated. By these methods, the motor activity could be recorded in the unanaesthetized animal for several hours, and its functional importance for the flow of the ingesta could be evaluated. The extraluminal strain-gauge transducers were positioned at the ileum and large intestine in such a way that recognition and analysis of specific motility patterns were possible. The motility patterns of the ileum were identified by multiple closely spaced transducers. By means of a special computer program, the contractions could be qualified according to their spatial and temporal distribution, and thus they could be differentiated into stationary and propagative contractions. The computer identified each contraction on the basis of pre-established threshold and timing criteria. Contractions were called propagative when they occurred at adjacent recording sites within a specific time window in accordance with the expected variability of propagation velocity. Contractions appearing at adjacent recording sites outside this time window were considered to be stationary contractions. The intertransducer distances at the caecum and colon were larger than that of the ileum because the contractions of the large intestine occurred

less frequently, and consequently the differentiation between stationary and propagative contractions was possible despite larger intertransducer distances. At the caecum and the first flexure of the proximal colon, the motor activity was analysed both with regard to aboral and retrograde contraction waves. The classification of the contractions of the caecum and colon was made by the computer program as well as manually since the giant contractions in particular, which occurred at all parts of the large intestine, could not be identified by the computer program. In addition to the differentiation of motor activity into stationary and propagating contractions, further motility parameters were established: the frequency (min^{-1}) of contraction types, the contractile force (mN), and the duration (s) of the different types of contractions. Furthermore, the propagating contractions which spread both in aboral or retrograde directions were characterized according to their length of spread (cm) and propagation velocity (cm/s). At the ileum and the spiral colon the basal intercontractile interval and thus the maximal frequency of contractions was measured. Additionally, the motility index (mN/min) was determined.

The motor activity of the ileum showed a constant pattern composed of three different phases: first, an irregular digestive motility pattern consisting of complexes of motor activity and power contractions. It was interrupted by a second phase consisting of the migrating motor complex (MMC). The third phase represented a period of motor quiescence following the MMC. These three phases were repeated in a cyclic manner. The gastrointestinal tract of ruminants never being completely empty, it is not appropriate to differentiate motility of the small intestine into interdigestive and digestive motor patterns. The migrating motor complex (MMC) and the motor complexes consisted mainly of peristaltic waves. Due to the high frequency and the low propagation velocity of the peristaltic waves, the chyme was subdivided - both during the MMC and the motor complexes - into small boli, similar to a string of pearls, which were slowly propelled aborally. By this motor activity the chyme was delivered across the ICS into the large intestine more or less continuously. Measurement of the transit times showed that the velocity with which the ingesta were transported into the large intestine was highest during the MMC. In the ileum as well as in the large intestine, power contractions were characterized by

their high contractile force, the long duration of contractions and a significant aboral relaxation. They occluded the lumen almost completely and therefore propelled the chyme effectively from the ileum into the large intestine.

The caecum and the first flexure of the proximal colon formed a functional unit. The motor activity of these two intestinal segments was characterized by long periods of motor activity consisting of peristaltic and antiperistaltic waves and stationary contractions. In the caecum and colon giant contractions occurred like in the ileum. They were followed by a short period of motor quiescence. The peristaltic and antiperistaltic waves started at different sites of the caecum and the first flexure of the proximal colon and spread over different lengths. They caused continuous mixing of the ingesta. The peristaltic and antiperistaltic waves occluded the intestinal lumen only slightly resulting in a small propulsion and pronounced the retrograde flow of chyme through the orifice of the constriction. Thereby the chyme was vigorously mixed. The aborally moving giant contractions occluded the lumen almost completely due to their high contractile force. This led to a netto transport of chyme in aboral direction. However, during the subsequent relaxation a marked backflow of chyme occurred. Videofluoroscopy showed that the ingesta was stored in the caecum and the first flexure of the proximal colon for several hours and was mixed as described above. As a result of this special function, the area of the first flexure of the proximal colon was described as 'reservoir colon'. In contrast to previous investigations, no correlation between the motor activity of the ileum and the caecum could be established. The giant contractions of the caecum causing transport of the chyme into the colon did not show any temporal relationship to the MMC of the ileum.

The motor activity of the proximal colon aboral to the first flexure mainly consisted of peristaltic waves. In contrast to the 'reservoir colon', this segment of the colon showed only peristaltic and no antiperistaltic waves. For this reason, this part of the proximal colon was described as 'transport colon'. The peristaltic waves led to a continuous aboral transfer of the chyme into the spiral colon. Since peristaltic waves in this part of the colon also caused retrograde flow through the central orifice of the constriction, they also caused powerful mixing of the ingesta. In addition to the peristaltic waves, aborally moving giant contractions occurred in this part of the

proximal colon; they were regularly followed by a short period of motor quiescence. The giant contractions occluded the intestinal lumen markedly and propelled a large amount of chyme towards the spiral colon. During the relaxation following the giant contractions, again a strong retrograde flow of chyme occurred. The mean residence time of chyme in the 'transport colon' was found to be 100 minutes.

The motor activity of the spiral colon exhibited tonic contractions occurring in a minute rhythm. They were superimposed by phasic contractions of high frequency. The tonic contractions caused prolonged circular constrictions which moved slowly in aboral direction. The content of the spiral colon was thus subdivided into small boli that were pushed slowly in aboral direction. The superimposed phasic contractions occurring in intervals of seconds caused a simultaneous mixing of the chyme. This basic motor activity of the spiral colon was interrupted at times by single peristaltic waves and by giant contractions. The peristaltic waves, partly starting from the proximal colon, propagated in the spiral colon, and partly started in the spiral colon itself. The peristaltic waves were associated with a marked aboral relaxation releasing the tonic segmenting constrictions for a short time. When the peristaltic waves stopped, tonic contractions and segmentation of chyme recurred. Some peristaltic waves moved from the beginning of the spiral colon as far as into the last centrifugal coil. The mean residence time of chyme in the spiral colon was found to be 75 minutes.

In this study, the contractions of the ileum and large intestine of sheep were quantified according to their spatial and temporal occurrence. A comparison of intestinal motility of other species showed that herbivores and carnivores as well as ruminants exhibit similar basic motor activities. However, the contractile patterns and their effects on the luminal content and the flow of chyme differ markedly among species.