

5. ZUSAMMENFASSUNG

In den bisherigen Untersuchungen über die Dickdarmmotorik des Schweines konnte die motorische Funktion nur unzureichend geklärt werden. Daher sollte in der vorliegenden Arbeit die funktionelle Bedeutung der Dickdarmmotorik durch Röntgenuntersuchung und gleichzeitige Messung der mechanischen Aktivität untersucht und beschrieben werden. Hierzu wurden bei sechs weiblichen Schweinen der Rasse „Deutsche Landrasse“ Dehnungsmeßfühler auf das Ileum, das Caecum und das Colon ascendens aufgenäht. Die Signale wurden mit Trägerfrequenzmeßbrücken verstärkt, mit Mehrkanalschreibern registriert und nach Pulsmodulation auf Tonband aufgezeichnet. Zur Computerauswertung der Motilitätsdaten wurden die Kontraktionen außerdem mit einem Peak-Erkennungssystem online erfaßt. Zur Röntgenuntersuchung stand eine Röntgenbildverstärkeranlage zur Verfügung. Um in den zu untersuchenden Darmabschnitt Röntgenkontrastmittel infundieren zu können, wurden Darmkatheter implantiert. Dieser Versuchsaufbau ermöglichte es, die Motorik am wachen Tier über mehrere Stunden zu registrieren und gleichzeitig ihre Wirkung auf den Ingestafluß sichtbar zu machen.

Die Anordnung der Dehnungsmeßfühler wurde so gewählt, daß es möglich war, spezifische Motilitätsmuster der verschiedenen Darmabschnitte erkennen und auswerten zu können. Die Untersuchung der Motilitätsmuster am Ileum erfolgte anhand mehrerer, dicht beieinander liegender Meßfühler. Mit Hilfe eines Computerauswertungsprogrammes 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 außerhalb des Zeitfensters auftraten, wurden als stationäre Kontraktionen angesehen. Am Dickdarm wurden ebenfalls mehrere Meßfühler aufgenäht. Der Abstand zwischen den Meßstellen wurde am Colon größer als am Ileum gewählt, da die peristaltischen Wellen des Colons durch eine hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit eindeutig zu identifizieren waren und somit eine Unterteilung in stationäre und peristaltische Kontraktionen auch bei größeren Meßfühlerabständen gegeben war. Am Caecum wurde die Motorik auf stationäre Kontraktionsgruppen untersucht. Die Auswertung der Kontraktionen der Dünn- und

Dickdarmabschnitte erfolgte vor allem mit Hilfe eines Computerprogrammes, teilweise jedoch auch manuell. Neben der Einteilung der Motorik in stationäre und fortlaufende Wellen wurden als weitere Motilitätsparameter die Frequenz [min^{-1}], mit der die verschiedenen Kontraktionsarten auftraten, die Kontraktionskraft [mN] und die Kontraktionsdauer [s] ermittelt. Weiterhin wurden fortlaufende Kontraktionen hinsichtlich ihrer Ausbreitungslänge [cm] und Ausbreitungsgeschwindigkeit [cm/s] untersucht. Am Ileum, Caecum und Colon wurde der basale Kontraktionsabstand [s] und somit die maximale Frequenz [min^{-1}] der Kontraktionen ermittelt. An Ileum und Colon wurde die Frequenz [h^{-1}] von fortschreitenden Riesenkontraktionen bzw. von peristaltischen Colonwellen in stündlichen Intervallen nach Fütterung ausgewertet. Außerdem wurde am Caecum die Entleerungsfrequenz [h^{-1}] nach einem Mahl in stündlichen Intervallen bestimmt.

An Ileum, Caecum und Colon wurde der Einfluß von Diäten mit unterschiedlichem Rohfasergehalt auf die motorische Aktivität der Darmabschnitte vor, während und nach Verabreichung eines Mahles ausgewertet. Beim Caecum und Colon wurde dies mittels Motilitätsindex [mN/min], beim Ileum und Colon mittels Frequenzanalyse der Riesenkontraktionen bzw. der peristaltischen Wellen [h^{-1}] bestimmt.

Die Motorik des Ileums zeigte eine gleichbleibende Aktivität, welche von drei unterschiedlichen Phasen gebildet wurde. Die vorherrschende Phase war ein Kontraktionsmuster, welches sich aus Riesenkontraktionen und unregelmäßigen Segmentationskontraktionen zusammensetzte. Unterbrochen wurde dieses Motilitätsmuster durch eine zweite Phase, die aus einem aboral wandernden motorischen Komplex (MMC) bestand. In einzelnen Fällen traten auch während dieser Phase Riesenkontraktionen auf. Im Anschluß an einen MMC trat als dritte Phase eine Pausenphase mit geringer motorischer Aktivität ein. Eine Unterteilung der Ileummotorik in ein interdigestives und ein digestives Kontraktionsmuster war beim Schwein nicht sinnvoll, da sich sowohl nach 12-stündigem Fasten als auch nach einem Mahl alle drei Phasen zyklisch und meist in regelmäßiger Reihenfolge wiederholten.

Der Chymustransport vom Ileum in den Dickdarm erfolgte schubartig durch Riesenkontraktionen. Diese schnürten das Darmlumen nahezu vollständig ein und transportierten den gesamten Darminhalt des terminalen Ileums durch den Ileocaecal-Sphincter in den Dickdarm. Bei geschlossenem Ileocaecal-Sphincter blieb der Chymustransport aus und es kam zu einer deutlichen Retropulsion der Ingesta. Die wandernden motorischen Komplexe transportierten ebenfalls Ingesta vom Ileum

in den Dickdarm. Sie bestanden aus einzelnen peristaltischen Wellen, die den betreffenden Teil des Ileums reinigten. Die Ingesta sammelte sich aboral des aktiven Darmsegmentes an und wurde durch die aborale Wanderung des MMC langsam in den Dickdarm geschoben. Die Ileummotorik nahm in der postprandialen Phase zu und war vom Ballaststoffgehalt des Futters abhängig.

Die **Motorik des Caecums** war durch langanhaltende Aktivitätsphasen gekennzeichnet, welche nur durch kurze Pausen unterbrochen wurden. Die Aktivitätsphasen bestanden aus Haustrenbewegungen, Entleerungskontraktionen und tonischen Kontraktionen. Die Haustrenbewegungen traten in der Registrierung in Form von regelmäßig wiederkehrenden Kontraktionsgruppen in Erscheinung. Sie dienten der kontinuierlichen Umwälzung des Caecuminhaltes und der ungerichteten Füllung des Caecums. Die Kontraktionsgruppen schnürten das Caecum dabei oberflächlich an ständig wechselnden Stellen ein. Die Haustren zeigten röntgenologisch deutliche Form- und Lageänderungen. Die Entleerung von Caecuminhalt in das Colon war durch eine kurzzeitige Kontraktion der Caecumbasis oder des gesamten Caecums bedingt, d. h. es traten nahezu zeitgleich an allen Meßstellen Kontraktionen ein. Sie entleerten im Caecum gebildetes Gär- und Ingesta schubartig ins Colon. Der Chymusfluß vom Caecum ins Colon war mit Riesenkontraktionen des Ileums und mit peristaltischen Wellen des Colons zeitlich koordiniert, d. h. auf den Chymusfluß vom Ileum in den Dickdarm folgte häufig ein Chymusfluß vom Caecum in das Colon und ein rascher Weitertransport im Colonkegel. Röntgenologisch waren an der Caecumbasis und -spitze tonische Kontraktionen zu erkennen, die zu Verschiebungen von Chymus innerhalb des Caecums führten. In der Registrierung mit Dehnungsmeßstreifen waren diese tonischen Kontraktionen nicht zu erfassen. Das Caecum kann aufgrund der beobachteten Motorik als Gär- und Mischkammer bezeichnet werden.

Die **Motorik der zentripetalen und zentrifugalen Windungen des Colonkegels** war durch peristaltische Wellen gekennzeichnet, die in Verbindung mit den Haustren einen langsamen Chymustransport bewirkten. Die Haustren zeigten sich röntgenologisch als Einschnürungen des Darmlumens, welche durch die vor der peristaltischen Wellen auftretende Relaxation verstrichen und nach der Kontraktion des betreffenden Darmabschnittes wieder deutlich in Erscheinung traten. Sie führten somit zu einer kräftigen Durchmischung der Ingesta und bremsten den aboralen Chymusfluß ab ('Bremswirkung der Haustren'). Die peristaltischen Colonwellen traten entweder unabhängig von Ileum- und Caecumkontraktionen auf oder sie

waren mit den Riesenkontraktionen des Ileums und somit mit den Entleerungskontraktionen des Caecums koordiniert. Durch die Koordination der Darmabschnitte wurde ein kontinuierlicher Chymustransport vom Ileum in das Colon sichergestellt. Die Caecum- und Colonmotorik nahm in der postprandialen Periode zu und war von dem Ballaststoffgehalt des Futters abhängig.

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

Desweiteren wurde gezeigt, daß der Rohfasergehalt einer Diät die Motorik in Ileum und Dickdarm deutlich beeinflusst. Je größer der Anteil an Rohfaser in der verabreichten Diät ist, desto höher war die registrierte motorische Aktivität an Ileum, Caecum und Colon.

6. SUMMARY

Karin Margarete Hipper

The function of large intestine motor activity in the pig –
Recording of the motility and videofluoroscopic examinations of the transit of chyme
in ileum, caecum and colon

The studies performed to date on the motility of the large intestine in pigs have not been able to adequately clarify the motor function. It is therefore the goal of the presented study to examine and shed light on the importance of large intestine motility by means of videofluoroscopy and the concurrent measuring of mechanical activity. In order to accomplish this, strain-gauge transducers were securely sutured in place on the ileum, caecum and the ascending colon in six female pigs belonging to the breed „Deutsche Landrasse“ (Domestic German breed). The transducer signals were amplified using Wheatstone Bridges, recorded with the help of multi-channel polygraphs and registered on tape after pulscode modulation. Furthermore the data of motor activity were saved online by means of a computerized peak-detection-program. An X-ray-image-intensifier was used for videofluoroscopy. In order to infuse contrast medium into the intestinal segments under examination, intestinal catheters were implanted into the animals. This experimental set-up not only allowed for the monitoring of motor activity in the unanesthetized animal over a period of hours, but also made it possible to evaluate the function on the flow of ingesta.

The choice for the positioning of the strain-gauge transducers was made with the thought in mind of being able to recognize and evaluate specific motility patterns of the respective intestinal segments. The motility patterns of the ileum were examined with multiple closely spaced transducers. Using a specialized computer program, it was possible to quantify contractions according to their spatial and temporal prevalence and allowed for the differentiation between stationary and propulsive contractions. Contractions were considered propulsive if they could be registered at adjacent recording sites within a specific time frame. Contractions which occurred outside of the specified time frame were considered to be stationary. The large intestine was also equipped with several transducers. The distance between the

measuring points was chosen to be greater in the colon than in the ileum, the reason being, that the peristaltic waves of the colon are clearly identifiable on account of their high propagating velocity, which makes it possible to differentiate between stationary and peristaltic contractions despite greater intertransduceral distances. The motility of the caecum was examined for stationary groups of contractions. The evaluation of contractions in the small and large intestine was primarily performed with a specialized computer program, part of the evaluation was however done manually. Besides classifying motility into stationary and propulsive waves, additional parameters for the evaluation of motility were established. The frequencies [min^{-1}] at which the different types of contractions occurred, the contractile force [mN] and the duration of the contractions [s] were recorded. Furthermore the propulsive contractions, respectively giant contractions, were examined in regard to their length of spread [cm]; and their propagating velocity [cm/s]. Ileum, caecum and colon were evaluated for their basal intercontractile intervals [s], thus determining the maximum frequency [min^{-1}] of the contractions. The ileum and colon were evaluated postprandially for their frequency [h^{-1}] of giant contractions of the ileum, respectively the peristaltic colon waves, in hourly intervals. The voiding frequency [h^{-1}] of the caecum was measured in hourly intervals following the intake of feed.

The effects of diets with varying amounts of dietary fiber on the motor activity of the intestinal segments before, during and after feeding were investigated. The evaluation on caecum and colon was performed using the motility index [mN/min], the evaluation for ileum and colon was carried out with a frequency analysis of the giant contractions and the peristaltic waves [h^{-1}], respectively.

The **motility of the ileum** demonstrated a constant level of activity which consisted of three different phases. The predominant phase was a contraction pattern consisting of giant contractions and irregular segmentational contractions. This motility pattern was interrupted by a second phase consisting of an aborally migrating motor complex (MMC). In some cases, giant contractions also occurred during this phase. The ensuing third phase was comprised of a period of rest with low motor activity. Classifying the motility of the ileum into an interdigestive and a digestive contraction pattern does not make sense in pigs, the reason being that all three phases show a cyclic occurrence and repeat themselves in irregular sequences both following a 12 hour fasting period and following the intake of feed.

The transport of the chyme took place in periodic rushes triggered by the giant contractions. These almost completely occluded the intestinal lumen and transported

the ingesta by way of an aborally migrating contraction through the ileocaecal sphincter all the way to the caecum. When the ileocaecal sphincter was closed, no transport of chyme occurred, a distinct retropropulsion of ingesta took place. The migrating motor complexes also transported ingesta aborally, from the ileum to the large intestine. These consisted of individual peristaltic waves with a high frequency and a low propulsive velocity and slowly transported the chyme aborally, cleaning the respective intestinal segment in the process. The motility of the ileum increased during the postprandial phase and was dependent upon the fiber content of the feed.

The **motility of the caecum** was characterized by long phases of activity which were only interrupted by brief periods of rest. The activity phases consisted of haustral motility, voiding contractions and tonic contractions. The haustral motility presented itself as irregularly reoccurring groups of contractions. These served the purpose of continually mixing the caecum content and irregularly filling the caecum. The groups of contractions superficially occluded the caecum at constantly varying sites. The haustra showed marked videofluoroscopic changes in both shape and anatomical position. Voiding contractions were visible as contractile peaks which occurred almost simultaneously at all measuring sites. These voided fermentation gases formed in the caecum as well as ingesta in varying proportions into the colon in periodic bursts. The flow of chyme from the caecum into the colon, which was initiated by the voiding contractions, was always synchronized with the giant contractions of the ileum and the peristaltic waves of the colon. Voided chyme was so consecutively propelled over long distances of the colon spiral. The tonic contractions resulted in very slow movements of amounts of caecal content from the base of the caecum to the tip of the caecum and vice versa. They were made visible with videofluoroscopy but could not be registered with the strain-gauge transducers. On account of the observed results, the caecum can be characterized as being a fermentation- and mixing reservoir.

The **motility of the centripetal and centrifugal gyri of the colon spiral** was characterized by peristaltic waves which, together with the colonic haustra, resulted in a slow chyle transport. The haustra showed up on fluoroscopy as strictures of the intestinal lumen which dissipate prior to the completion of a peristaltic wave on account of a precontractile relaxation, only to reappear following the contraction of the respective intestinal segment. In so doing, they led to a turbulence in the laminar chyme flow and to a thorough mixing of ingesta. The peristaltic colon waves either occurred independent of ileum- and caecum contractions or they appeared to

be coordinated with the giant contractions of the ileum, and therefore in part also with the voiding contractions of the caecum. Due to the coordination of the intestinal segments, a continual aboral chyme flow could be guaranteed. The motility of caecum and colon increased during the postprandial phase and stood in correlation to the fiber content of the feed.

In this study, contractions of the ileum and the large intestine in the pig were quantified in regard to their spatial and temporal occurrence. A comparison of the intestinal motility to other species of animals showed that the same basic motility patterns can be found in carnivorous-monogastric, herbivorous-monogastric, ruminant and omnivorous-monogastric species of animals; the characteristics of the contractile patterns do however vary, therefore indicating different effects on the flow of ingesta.

It could also be demonstrated that the dietary fiber content affects the motility of the ileum and the large intestine. An increase in the content of dietary fiber resulted in an increase in the registered motility of the examined intestinal segments.