

F. ZUSAMMENFASSUNG

Struktur und Funktion des bovinen Klauenbeinträgers

In der Zirkumferenz der Klaue wurde der Klauenbeinträger mittels lichtmikroskopischer und elektronenoptischer Methoden an insgesamt 158 Klauen untersucht, unter Einbeziehung histochemischer und morphometrischer Techniken.

Der Klauenbeinträger hängt das Klauenbein in der Klauenkapsel auf und besteht aus einem bindegewebigen und epidermalen Teil, die über eine dermoepidermale Grenzfläche miteinander verbunden sind. Der Klauenbeinträger inseriert über eine chondroapophysäre Insertionszone an der Wandfläche des Klauenbeines. Diese vierzonale Insertionszone gehört zum bindegewebigen, vornehmlich dermalen Teil des Klauenbeinträgers und gliedert sich in die Zone des lamellären Knochens, die Zone des verkalkten und unverkalkten Faserknorpels und in die Zone des parallelfaserigen straffen Bindegewebes. Die letztgenannte Zone besteht maßgeblich aus Kollagenfasern vom Typ I, elastischen und retikulären Fasern und wird von Zonen des zell- und gefäßreichen lockeren Bindegewebes flankiert. Die Zonen des parallelfaserigen straffen Bindegewebes fungieren als Träger und Verankerungselement des Klauenbeines und leiten die Zugkräfte an den epidermalen Teil des Klauenbeinträgers weiter. Die Zonen des zell- und gefäßreichen lockeren Bindegewebes stellen ebenfalls einen modifizierten Teil der Dermis dar und sorgen für die Ernährung des Klauenbeinträgers und der avaskulären Epidermis. Zusätzlich sorgen sie durch die Übermittlung von Botenstoffen für eine enge dermoepidermale Koordination.

Die Zugkraft der in unterschiedlicher Winkelung vom Klauenbein ausgehenden Kollagenfaserbündel wird indirekt über eine Basalmembran zum Verbindungshorn der epidermalen Blättchen und von diesen zur Schutzschicht der Hornkapsel fortgesetzt. Die mechanische Beanspruchung wird an der dermoepidermalen Grenzfläche durch die Ausbildung von insgesamt 1800 bis 2100 Lederhaut- respektive Epidermisblättchen auf eine sehr große Oberfläche verteilt. Dies entspricht den Verhältnissen an der Hintergliedmaße; die Vordergliedmaße weist im distalen Bereich des Wandsegmentes dahingegen durchschnittlich nur 1600 bis 1800 Lamellen auf. Die Blättchen-, Terminal- und Kappenepidermis bilden den epidermalen Teil des Klauenbeinträgers, der durch intra- und interzelluläre Elemente die Verankerung stabilisiert und für eine elastisch-federnde Zugübertragung sorgt.

Die Summe aller aufgeführten Modifikationen im Wandsegment lassen die funktionelle Schlussfolgerung zu, dass der Klauenbeinträger ein hochdifferenziertes Verankerungssystem darstellt und im Zehenrücken der Klaue und im apikalen Drittel der abaxialen Wandfläche den Hauptanteil der Krafttransformation leistet. Die Zugwirkung des Klauenbeinträgers am inneren Kronhorn und die Druckverteilung des Sohlen- und Ballensegmentes induzieren den Klauenmechanismus. Dieser stellt die bei der Be- und Entlastung eintretende reversible Form-

veränderung der Klauenkapsel und der von ihr eingeschlossenen Strukturen dar. Es ist ein Belastungsgradient festzustellen, der proximodistal der Klaue ansteigt und dorsoplantar abnimmt.

Durch zusätzliche Messungen an der be- und entlasteten Klaue wurden die natürlichen Belastungsverhältnisse an der Klaue sowie die relative Belastbarkeit der verschiedenen untersuchten Bereiche dargestellt, woraus bestimmte Loci minores resistentiae abgeleitet werden konnten. Bereiche mit einer faserknorpeligen Ansatzzone, wie das Wand- und Sohlensegment sowie Ansatzzonen für Bänder und Sehnen, sind multidirektionalen Kräften ausgesetzt, verbunden mit dem Fehlen eines Subkutispolsters und bedürfen bei Fehlbelastungen der Klaue einer größeren Aufmerksamkeit. Bereiche, wie das Kron- und das Ballensegment, die über ein Subkutispolster verfügen, werden bei der Belastung ebenfalls stark beansprucht, sind aber auch dementsprechend geschützt. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen als Grundlage für die herausragende Rolle des Klauenbeinträgers bei der Entstehung von Klauenerkrankungen dienen.

Die bei der Belastung durch das Körpergewicht entstehenden Druckkräfte werden über das Skelettsystem an das Klauenbein weitergeleitet und in der ersten Phase der Belastung als Druckkräfte über das Ballen- und Sohlensegment und in der zweiten Phase als Zugkräfte über den Klauenbeinträger in Bewegung umgesetzt. Diese unterschiedliche Belastung und die daraus in den verschiedenen Segmenten der Klaue resultierenden strukturellen und funktionellen Eigenschaften führen dazu, die Gesamtheit der Segmente als den Fußungs-(Trage-)apparat der Klaue (weight-bearing apparatus) zu definieren.

Der Fußungsapparat wird zum einen in den Stoßdämpfungsapparat (shock-absorption apparatus), den Bereich der Stoßdämpfung und Druckabpufferung im Ballensegment und den entsprechenden Elementen des Sohlensegmentes eingeteilt, die als funktionelle Einheit den Stoßbrechungsmechanismus induzieren, und zum anderen in den Klauenbeinträger (suspensory apparatus of the third phalanx), den Bereich der Zugumwandlung.

Zum Klauenbeinträger im engeren Sinne zählen das Wandsegment und die stützenden Elemente des Sohlensegmentes. Für die Aufhängung des Klauenbeines sind weiterhin die Strecksehne, die tiefe Beugesehne und der gesamte Bandapparat des Klauengelenkes von Bedeutung, die zusammen den Klauenbeinträger im weiteren Sinne bilden. Das Sohlensegment der Klaue vereinigt sowohl zug- als auch druckelastische Elemente und wird als Transferregion und somit als Übergangsbereich definiert. Der Klauenbeinträger und der Stoßdämpfungsapparat sind an die Belastung angepasste epidermale und dermo-subkutane Systeme der Klaue.

G. SUMMARY

Structure and function of the bovine suspensory apparatus of the distal phalanx

The suspensory apparatus of the distal phalanx in the entire circumference of the bovine claw was investigated employing light and electron microscopy as well as histochemical and morphometrical techniques. This profound study was based on 158 adult bovine claws, in total.

The claw suspensory apparatus suspends the distal phalanx in the claw capsule and consists of a connective tissue and an epidermal compound which adhere by a specialised dermo-epidermal borderline. The claw suspensory apparatus connects via a four-zonal insertion area to the parietal surface of the distal phalanx. This four-zonal insertion area represents the connective tissue compound of the suspensory apparatus, which is mainly dermal and consists of a lamellar bone zone, a zone of calcified and uncalcified fibrous cartilage, respectively, and a zone of parallel-orientated dense fibres. The latter consists mainly of type I collagenous fibres, elastic and reticular fibres and is flanked by loosely arranged connective tissue containing numerous cells and blood vessels. The zone of parallel-orientated dense fibres acts as a supporting and anchoring system of the distal phalanx and conducts the tension forces to the epidermal compound of the claw suspensory apparatus. The zone of loose, well-vascularised connective tissue represents an equally modified part of the dermis and provides nutritional supply for both the claw suspensory apparatus and the avascular epidermis. Additionally, it enables a close messenger- and growth-factor-mediated dermo-epidermal coordination.

The tension forces borne by bundles of collagenous fibre originating in different angles from the surface of the distal phalanx are indirectly transferred to the horny lamellae via the basal membrane, and from there on to the coronary horn of the horny claw capsule. The mechanical load is distributed onto the very large surface of the dermo-epidermal borderline which is enlarged by formation of 1800 to 1200 dermal and epidermal lamellae, respectively, in total. The latter applies to the situation in the hind limb, whereas in the fore limb only an average of 1600 to 1800 lamellae are formed in the distal part of the wall segment. The lamellary, cap and terminal epidermis thus represent the epidermal compound of the claw suspensory apparatus which stabilises the anchoring via specialised intra- and inter-cellular elements and enables an elastic-resilient transfer of tension forces.

Taking all specified modifications of the wall segment into consideration leads to the functional conclusion that the claw suspensory apparatus is a highly specialised anchoring system which accomplishes the main part of force transformation in the dorsal and in the

apical third of the abaxial parietal area of the claw. The distal phalanx is lowered under load, and the traction caused by the claw suspensory apparatus in the inner coronary horn thus induces the claw mechanism. The claw mechanism implies the reversible shape alterations of the claw capsule and the structures encased within, caused by loading and unloading of the claw. A proximo-distally increasing, respectively dorso-plantarly decreasing, force gradient is detectable.

Additional measurements of the loaded and unloaded claw revealed the natural loading circumstances and the relative load capacity of the claw, resulting in the detection of certain *loci minores resistentiae*. Regions with fibro-cartilaginous insertions such as the wall and solear segment, and insertion areas of ligaments and tendons, are exposed to multidirectional forces while they are not protected by a subcutaneous cushion. Therefore, these regions deserve major attention in improperly loaded claws. Regions displaying a subcutaneous cushion, like the coronary and bulbar segment, do participate in the load-induced strain but are protected accordingly.

The body weight-generated pressure forces are transferred to the distal phalanx via the skeletal system. In the first phase of weight-bearing, the pressure force is transduced into motion by elements of the bulbar and solear segment, while it is transformed into a tension force by the claw suspensory apparatus in the second phase. The different load capacities and the resulting differing structural and functional modifications in the respective segments of the claw, imply to regard all segments collectively as the weight-bearing apparatus of the claw. The weight-bearing apparatus consists of a shock-absorbing apparatus on the one hand, i.e. the anti-shock pad and pressure buffer of the bulbar segment and the respective elements of the solear segment, and the suspensory apparatus of the distal phalanx on the other hand, i.e. the tension force transforming areas. The claw suspensory apparatus in a narrower sense consists of the wall segment and the sustaining elements of the solear segment. For suspension of the distal phalanx, the extensor tendon, the deep flexor tendon and the whole ligamentary apparatus of the ungular joint are equally essential, therefore these form the claw suspensory apparatus in a broader sense. The solear segment comprises both tension transforming as well as pressure absorbing elements and is therefore defined as transfer or transitional region. The suspensory and the shock-absorbing apparatus of the distal phalanx are highly specialised epidermal and dermo-subcutaneous systems, both accommodating the weight-bearing induced strains.