
VI. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Meningen von 66 verschiedenen Vogelarten lichtmikroskopisch auf das Vorkommen und die Morphologie von PACCHIONISchen Granulationen untersucht. Außerdem wurde die Morphologie der Hirnhäute und Nervenhiillen von Bulbus olfactorius und Nervi olfactorii bis zum Eintritt in das Riechepithel bei je zwei Säuger- (Ratte und Katze) und Vogelarten (Huhn und Taube) elektronenmikroskopisch untersucht, um die Eignung dieser Nervenhiillen als möglichen Abflussweg für Liquor cerebrospinalis auch beim Vogel zu überprüfen. Die vorhandene Literatur und die eigenen Untersuchungen wurden in bezug auf Methodik, biophysikalische Auswertbarkeit und Vereinbarkeit von Morphologie und Funktion der Granulationen bei Vogel, Säuger und Mensch diskutiert.

Als Material standen Sektionsmaterial, Schlachtgeflügel und krankheitsbedingt euthanasierte Tiere zur Verfügung; bei der Elektronenmikroskopie konnte zum Teil auf Material des Instituts aus früheren Untersuchungen zurückgegriffen werden. Das Material wurde in Großvögel (Hirngröße mindestens wie beim Haushuhn) und Kleinvögel (Hirngröße kleiner als beim Haushuhn) unterteilt.

Granulationen fanden sich bei allen Großvogelarten mit Ausnahme eines Pinguinkükens. Darüber hinaus kommen sie bei einigen Kleinvogelarten vor. Bei den meisten Kleinvogelarten finden sich keine Granulationen, beim Textorweber wurde je ein Exemplar mit und ohne Granulationen gefunden.

Beim Vogel finden sich Granulationen im dorsalen Sinussystem der Dura mater. Sie liegen immer bilateral am Zusammenfluss der Sinus olfactorii in den Sinus sagittalis dorsalis und können bei Großvögeln in einigen wenigen Fällen zusätzlich an anderen Zusammenflüssen größerer Sinus oder Einmündungen großer cerebraler Venen in das durale Sinussystem angetroffen werden. Es wurden insgesamt vier weitere Positionen für das Vorkommen von Granulationen gefunden: Caudal der Einmündung cerebraler Venen in den Sinus sagittalis dorsalis (unpaar), bilateral in den Sinus transversi an der Einmündung in den Sinus occipitalis resp. sagittalis dorsalis, im Sinus sagittalis olfactorius vor der Aufspaltung in die Sinus olfactorii (unpaar) und im Sinus sagittalis dorsalis direkt rostral der Epiphyse.

Beim Vogel sind Granulationen meist zwischen 300 und 600 μm im Durchmesser, einige Exemplare zeigten kleinere (200 μm) oder größere (bis über 1000 μm) Granulationen. Sie sind leptomeningeale Strukturen, die immer vollständig vom Sinusendothel überzogen sind, und bestehen aus drei Bauelementen: einem Stratum reticulare im Zentrum, das dem maschenartigen Bindegewebe der retikulären Arachnoidea entspricht, einem Stratum fibrosum, das keine Entsprechung in der übrigen Leptomeninx hat, und einem Stratum cellulare, das dem Neurothel und der Arachnoideagrenzschicht entspricht.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen ergaben, dass aus morphologischer Sicht beim Säuger und beim Vogel gleichermaßen ein Abfluss von Liquor in den Hüllen der Riechnerven innerhalb des Perineuralepithels, also im Endoneurium möglich ist. Er kann dann von den Lymphgefäßen der Nasenschleimhaut aufgenommen werden.

Aufgrund der Morphologie und Lokalisation sind Granulationen als Resorptionsorte für den Liquor beim Vogel ungeeignet. Eine blutflussregulierende Funktion, wie sie auch von einigen Autoren in der Literatur für Menschen und Säuger vorgeschlagen wird, ist dagegen wahrscheinlich. Aus morphologischer Sicht stehen dem Vogel andere Abflusswege, z.B. über die Riechnerven, zur Verfügung.

Die zum Teil sehr widersprüchlichen Angaben zu Morphologie und Funktion der Granulationen bei Mensch und Säuger in der Literatur sind auf schlechte Zugänglichkeit und hohe Empfindlichkeit des Materials ebenso zurückzuführen wie auf veraltete morphologische Studien und ungenaue biophysikalische Auswertung experimenteller Untersuchungen. Objektiv durchgeführte Studien mit modernen, gewebeschonenden Techniken und wissenschaftlich unangreifbarer Methodik sollten zukünftig angewendet werden.

VII. Summary

PACCHIONIAN Granulations (Granulationes arachnoidales) in Birds (*Aves*):

A Study about Occurrence and Forms and about morphologically possible Pathways of Cerebrospinal Fluid Absorption

In this study the meninges of 66 species of birds were microscopically examined to determine occurrence and morphology of PACCHIONIAN granulations in birds. Furthermore, the morphology of the meningeal sheaths of the olfactory bulb and sheaths of the olfactory nerves up to their entrance into the olfactory epithelium were examined by electron microscope in two species of mammals (rat and cat) and birds (chicken and pigeon), respectively, to determine their suitability as possible pathways for cerebrospinal fluid absorption in birds. Reviewed literature and the findings of this study were discussed with focus on biophysical evaluation and accordance of morphology and function of PACCHIONIAN granulations in birds, mammals, and man.

Material was obtained from post mortem dissections, slaughtered and euthanised animals; for electron microscopy, material included specimens from previous studies by the anatomy department. Classes of birds were divided in large species (brain size as in chicken or larger) and small species (brain size smaller than in chicken).

Granulations were found in all large birds with the exception of a penguin chick. They may further occur in a few small bird species. In most small bird species, no granulations were found; *Textor cucullatus* showed one specimen with and without granulations, respectively.

In birds, granulations are found in the dorsal sinus system of the dura mater. They are always located at the conflux of the olfactory sinuses into the dorsal sagittal sinus and may in some cases in large birds additionally occur at other sites like confluxes of large sinuses or entrances of greater cerebral veins into the dorsal sinus system. Four further sites of occurrence of granulations were found: caudal of the entrance of cerebral veins into the dorsal sagittal sinus (unpaired), bilateral at the entrance of the transversal sinuses into the occipital resp. dorsal sagittal sinus, in the sagittal olfactory sinus before its splitting into the

olfactory sinuses (unpaired), and in the dorsal sagittal sinus directly rostral of the pineal gland.

Most granulations in birds are between 300 and 600 μm in diameter, some individuals showed smaller (200 μm) or larger (more than 1000 μm) granulations. They are leptomeningeal structures which always are totally coated by sinus endothelium, and consist of three structural elements: the central Stratum reticulare, which is correspondent to the mashlike connective tissue of the reticular arachnoid, the Stratum fibrosum without correspondence to the usual leptomeningeal sheaths, and the Stratum cellulare, which is correspondent to the neurothelium and arachnoid barrier layer.

Electron microscopy showed that from a morphological point of view passage of cerebrospinal fluid into the mucous membrane of the nose is possible underneath the perineural epithelium of olfactory nerve, i.e. through the endoneurium, in both mammals and birds. The fluid may then be absorbed by lymph vessels of the olfactory mucosa.

For morphological reasons and because of their specific localisation, granulations are not suited for cerebrospinal fluid absorption in birds; rather, a haemodynamic function, as it is suggested by various authors in the literature, seems probable. From a morphological point of view, cerebrospinal fluid in birds has access to other pathways of absorption, for example via olfactory nerve sheaths.

The findings in the reviewed literature concerning morphology and function of PACCHIONIAN granulations in man and mammals are often contradictive to each other. The reasons for this may lie in the difficulty of access to and high susceptibility of the meningeal tissue as well as in the application of out-dated morphological techniques and imprecise biophysical evaluation of experimental studies. Future studies should be performed using modern, tissue preserving techniques and scientifically impregnable methods.