

# Acta Anatomica

131/1/88

January 1988



Anlage of the ovary of the rat, 21 ED.

S. Karger  
Medical and Scientific  
Publishers  
Basel · München · Paris  
London · New York  
New Delhi · Singapore  
Tokyo · Sydney

131

1028

1339

P88/3000<sup>31</sup>J

## No. 1

### Editorial

- Guide to Writing Articles in English  
O'Rahilly, R. . . . . 1

### Original Papers

- Annulate Lamellae as a Precursor or a Product of Paired Cisternae in Human Adenomatous Parathyroid Cells  
Menezes, Y. de; Sesso, A. . . . . 3
- Effects of an Organosilicon Compound on the Tubular Apparatus of Rat Kidney. A Histological and Enzyme Histochemical Report (with 2 color plates)  
Haider, S.G.; Rolauffs, D.; Goslar, H.G.; Stuhl, O.; Birkofer, L. . . . . 9
- Development of the Subformal Organ and Area postrema of the Male Albino Mouse. Karyometric Effect of Neonatal and Prepuberal Castration  
Castañeyra-Perdomo, A.; del Mar Pérez-Delgado, M.; González-Hernández, T.; Ferres-Torres, R. . . . . 13
- Postpubertal Changes in the Histomorphometric Characteristics of the Uterus of the Indigenous West African Pig  
Egbunike, G.N.; Agiang, E.A. . . . . 26
- Morphometric Analysis of Frozen Transverse Sections of Human Skeletal Muscle Taken Post-Mortem  
Shorey, C.D.; Cleland, K.W. . . . . 30
- Morphology of the Lumbar Vertebral Canal  
Piera, V.; Rodriguez, A.; Cobos, A.; Hernández, R.; Cobos, P. . . . . 35
- Castration Cells in Rat Adenohypophysis after Long-Term Alcohol Consumption  
Sommer, L.; Wrobel, K.-H.; Schimmel, M. . . . . 41
- Marginal and Folliculo-Stellate Cells of the Pituitary Gland of the Rat. A Comparative Morphometric Study in Lactating Animals  
Sbarbati, A.; Zancanaro, C.; Cinti, S.; Osculati, F. . . . . 47
- Partial Degeneration of Autonomic Nerves of the Heart of Methotrexate-Treated Guinea Pigs  
Qayyum, M.A.; Fatani, J.A.; El-Badawi, M.G. . . . . 52
- Quantitative und morphologische Untersuchungen der Retinaentwicklung bei Trisomie-19-Mäusen  
Lorke, D.E.; Engelmann, E. . . . . 56
- Ultrastructural and Immunocytochemical Changes of Prolactin Cells of Grafted Pituitary after the Injection of Dopamine in the Albino Rat  
Ishibashi, T.; Shiino, M. . . . . 66
- Skeleton, Blood Vessels and Viscera: Overlooked Targets in Fetuses of Small Species During the External Examination for Teratogenicity Assessment  
Pinto-Machado, J. . . . . 73

- Femoral Expansion in the Adult Male Rat  
Wink, C.S.; Armstrong, E. . . . . 77
- Atresia of the Right Atrial Ostium of the Coronary Sinus  
Lüdinghausen, M. von; Lechleuthner, A. . . . . 81
- Synchondroseal Growth in the First Cervical Vertebra of the Rat  
Kylämarkula, S. . . . . 84

## No. 2

- The Blood Supply of the Stomach  
Vandamme, J.P.J.; Bonte, J. . . . . 89
- Vascularization of the Myocutaneous Latissimus dorsi Flap. Injection of the Study on the Thoracodorsal Artery  
Friedrich, W.; Heberhold, C.; Lierse, W. . . . . 97
- Differentiation of Adreno-Chromaffin Cells in the Newborn Rat, as Detected by Formaldehyde-Induced Fluorescence, Compared with the Chromaffin Reaction  
El-Maghraby, M.Z. . . . . 103
- Masticatory Muscles in the Muscular Dystrophic Mouse. Aspects of the Age-Related Progression of the Disease  
Vilmann, H.; Kirkeby, S. . . . . 108
- Die Guyonsche Loge. Ein Beitrag zur klinischen Anatomie der menschlichen Hand  
Schmidt, H.-M. . . . . 113
- Rat Embryogenesis following Exposure to Alcohol and Nicotine  
Woo, N.D.; Persaud, T.V.N. . . . . 122
- A Quantitative Approach to Spatial Variation of Human Cerebral Sulci  
Graf v. Keyserlingk, D.; Niemann, K.; Wasel, J. . . . . 127
- Simple and Complex Synapses Shown by Freeze-Etching of Rat Cortical Synaptosomes  
Surchev, L. . . . . 132
- Effect of Altered Masticatory Function on [<sup>3</sup>H]-Thymidine and [<sup>35</sup>S]-Sulfate Incorporation in the Condylar Cartilage of the Rat  
Hinton, R.J. . . . . 136
- Funktion des Ligamentum coracoacromiale  
Putz, R.; Liebermann, J.; Reichelt, A. . . . . 140
- Morphological Variations of Human Ossicula Tympani  
Sarrat, R.; Guzmán, A.G.; Torres, A. . . . . 146
- Quantitative Aspects of Growth Hormone Cell Maturation in the Normal and Little Mutant Mouse  
Wilson, D.B.; Wyatt, D.P.; Gadler, R.M.; Baker, C.A. . . . . 150
- Cellular Proliferation in the Lymphoid Tissues of an Inbred (RT1<sup>a</sup>) Rat Strain during the Oestrous Cycle  
Habbal, O.; Leeming, G.; McLean, J.M. . . . . 156

|   |     |
|---|-----|
| Myofibroblasts in Human Palatal Mucosa<br>Boya, J.; Carbonell, A.L.; Martinez, A. . . . .   | 161 |
| Natural Protoberberine Alkaloids from <i>Enantia Chlorantha</i> ,<br>Palmatine, Columbamine and Jatrorrhizine for Thioacet-<br>amide-Traumatized Rat Liver<br>Virtanen, P.; Lassila, V.; Njimi, T.; Mengata, D.E. . . . . | 166 |
| Effects of Nicotine on the Fertility, Cytology and Life Span of<br>Male Rats<br>Riesenfeld, A.; Oliva, H. . . . .   | 171 |

|              |
|--------------|
| <b>No. 3</b> |
|--------------|

|  |     |
|--|-----|
| Neuroanatomical Study of Galen's Anastomosis ( <i>Nervus laryngeus</i> ) in the Dog<br>Henry, C.; Cazals, Y.; Gioux, M.; Didier, A.; Aran, J.M.;<br>Traissac, L. . . . .   | 177 |
| Adjustment of the Myelin Sheath to Axonal Atrophy in the Rat<br>Spinal Root by the Formation of Infolded Myelin Loops<br>Krinke, G.; Froehlich, E.; Herrmann, M.; Schneider, K.; Da<br>Silva, F.; Suter, J.; Traber, K. . . . .                        | 182 |
| Anatomical and Computed Tomographic Studies of the Pan-<br>creatic Tail<br>Rosen, A.; Shikiar, S.; Nathan, H.; Oland, J.; Sayfan, J.;<br>Orda, R. . . . .  | 188 |
| Fine Structure of Melanocytes and Macrophages in the Har-<br>derian Gland of the Mouse<br>Shirama, K.; Harada, T.; Kohda, M.; Hokano, M. . . . .   | 192 |
| Pericyte Response during Choriocapillaris Atrophy in the<br>Rabbit<br>Korte, G.E.; Pua, F. . . . .   | 200 |
| Morphological Changes in Locus ceruleus of Albino Rats in<br>Relation to Aging<br>Zhi-tan, C.; Tie-ming, Z.; Zhang-hai, S.; Yen, W.W.C. . . . .  | 207 |
| Filipin-Sterol Complexes in Disrupted Myelin in the Rat<br>Blanchard, C.E.; Allt, G. . . . .   | 210 |
| Occurrence of Substance P-Like Immunoreactive Nerve Fi-<br>bers in Krause Corpuscles of the Dog's Tongue<br>Ichikawa, H.; Nishikawa, S.; Wakisaka, S.; Matsuo, S.;<br>Takano, Y.; Akai, M. . . . .   | 215 |
| Peroxisomes in the Rat Brain and the Effects of Di-(2-Ethyl-<br>hexyl) Phthalate during Postnatal Development. An Elec-<br>tron-Microscopic Study<br>Dabholkar, A.S. . . . .   | 218 |
| Immunocytochemical Studies on Parafollicular Cells of Var-<br>ious Mammals<br>Zabel, M.; Schäfer, H.; Surdyk, J.; Biela-Jacek, I. . . . .  | 222 |
| Multilamellar Glial Envelopes of Synapses in the Pontine<br>Nuclei of the Cat<br>Narlieva, N. . . . .  | 227 |
| In vitro Growth of the Nasal Septal Cartilage of the Rat in a<br>Serum-Free Culture Medium. [ <sup>3</sup> H]-Thymidine Incorpora-<br>tion Studies<br>Kvinnslund, S. . . . .   | 231 |
| Immunohistochemical Study on the Endocrine Pancreas of<br>Cattle with Special Reference to Coexistence of Serotonin<br>and Glucagon or Bovine Pancreatic Polypeptide<br>Nakajima, S.; Kitamura, N.; Yamada, J.; Yamashita, T.;<br>Watanabe, T. . . . . | 235 |

|   |     |
|---|-----|
| Electron-Microscopical Study of the Choroid Plexus and Epi-<br>plexus Cells in Cats following a Cisternal Injection of Cro-<br>toxin Complex<br>Ling, E.A.; Gopalakrishnakone, P.; Tan, C.K. . . . .                            | 241 |
| Development of Alveolar Septa and Formation of Alveolar<br>Pores during the Early Postnatal Period in the Rat Lung<br>Scheuermann, D.W.; Van Meir, F.; Adriaensen, D.; Tim-<br>mermans, J.-P.; De Groot-Lasseel, M.H.A. . . . . | 249 |
| Microvasculature of the Feline Stomach<br>Marais, J. . . . .  | 262 |

|              |
|--------------|
| <b>No. 4</b> |
|--------------|

|   |     |
|---|-----|
| Effects of Daily Administration of Tetrahydrocannabinol on<br>Rat Preovulatory Follicles. A Quantitative Electron-Micro-<br>scopic Analysis<br>Zoller, L.C.; Carr, K. . . . .   | 265 |
| The Two- and Three-Dimensional Structure of the Microcircu-<br>lation of the Chick Chorioallantoic Membrane<br>Fuchs, A.; Lindenbaum, E.S. . . . .  | 271 |
| Arterial Segmentation and Subsegmentation in the Human<br>Spleen (with 1 color plate)<br>García-Porrero, J.A.; Lemes, A. . . . .  | 276 |
| Myocutaneous vascular territory of the thoracoacromial Ar-<br>tery. A Topographical and Morphometric Study of the<br>Arterial Vascularization of the Pectoralis major Myocuta-<br>neous Flap<br>Friedrich, W.; Lierse, W.; Herberhold, C. . . . . | 284 |
| Some Aspects of the Morphology of the Human Temporoman-<br>dibular Joint Capsule<br>Savalle, W.P.M. . . . .   | 292 |
| Aspekte der arteriellen Gefäßbeziehungen im Hohlhand-<br>bereich<br>Ebner, I.; Hammer, H. . . . .   | 297 |
| Microvasculature of the Bear Heart Demonstrated by Scan-<br>ning Electron Microscopy<br>Anderson, W.D.; Anderson, B.G.; Seguin, R.J. . . . .  | 305 |
| Qualitative and Quantitative Observations on the Structure of<br>the Schwann Cells in Myelinated Fibres<br>Pannese, E.; Ledda, M.; Arcidiacono, G.; Frattola, D.;<br>Rigamonti, L.; Procacci, P. . . . .  | 314 |
| Effects of Endocrine Glands and Hormone Replacement on<br>the Mast Cell Count of the Harderian Gland of Mice<br>Shirama, K.; Kohda, M.; Hokano, M. . . . .  | 327 |
| Ultrastructure of the Secondary Tympanic Membrane in the<br>Human Fetus<br>Shidu, Y.; Zhimin, Q.; Ningshen, Z. . . . .  | 332 |
| Ontogeny of Relationship of Human Middle Ear and Tempo-<br>romandibular (Squamomandibular) Joint. I. Morphology<br>and Ontogeny in Man<br>Smeele, L.E. . . . .  | 338 |
| Scanning Electron Microscope Study of the Communications<br>between the Anterior Chamber and the Sinus venosus<br>Sclerae in Primates<br>Costa-Vila, J.; Ruano-Gil, D. . . . .  | 342 |
| Author Index . . . . .  | 346 |
| Subject Index . . . . .   | 347 |

# Acta Anatomica

131/2/88

February 1988

736-3



Anlage of the ovary of the rat. ED 18.

S. Karger  
Medical and Scientific  
Publishers  
Basel · München · Paris  
London · New York  
New Delhi · Singapore  
Tokyo · Sydney

# Funktion des Ligamentum coracoacromiale

Reinhard Putz<sup>a</sup>, Joachim Liebermann<sup>a</sup>, Achim Reichelt<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Anatomisches Institut, Lehrstuhl III, und <sup>b</sup>Abteilung Orthopädie, Chirurgische Klinik, Universität Freiburg im Breisgau, BRD

**Key Words.** Coracoacromial ligament · Biomechanics · Acromion · Coracoid process

**Abstract.** The function of the coracoacromial ligament was investigated in 8 dissecting-room scapulae. Strain gauges were attached around the coracoid process and the acromion, and tension (50 or 100 N) applied through the remaining muscle stumps. The results showed that, after division of the ligament, significantly more distortion could be measured in the acromion than in the coracoid process, which suggests that the 'stay' effect of the coracoacromial ligament is stronger for the former. Since the degree of distortion is largely dependent on the direction of pull, the ligament is interpreted as a dynamic brace between the two processes of the scapula.

## Einleitung

Acromion und Processus coracoideus bilden gemeinsam mit dem Ligamentum coracoacromiale das Schulterdach (Abb. 1). Unterhalb des Bandes verläuft die Sehne des Musculus supraspinatus, der aus der Fossa supraspinata bis zum Tuberculum majus des Humerus zieht und hier bei einem Hochstand des Humeruskopfes kaum ausweichen kann. Bei Zerstörungen der Sehne des M. supraspinatus oder bei Funktionsstörungen, die mit starken Schmerzen verbunden sind (klinischer «painful arc»), versucht man häufig, durch Entfernung des Bandes Raum und damit relative Beschwerdefreiheit zu schaffen [Eulert et al., 1981; Reichelt, 1981]. Trotz dieser nun schon länger geübten Operationsmethode gibt es kaum Untersuchungen, die sich mit der normalen Funktion des Lig. coracoacromiale auseinandersetzen und mögliche Konsequenzen der Entfernung des Bandes abzuschätzen versuchen [Putz et al., 1985; Wasmer et al., 1985].

Aus diesem Grunde haben wir uns die Aufgabe gestellt, das Biegeverhalten von Acromion und Proc. coracoideus bei erhaltenem und bei durchschnittenem Lig. coracoacromiale zu untersuchen und auf dieser Grundlage die normale Funktion des Bandes zu beschreiben.

## Material und Methode

### Material

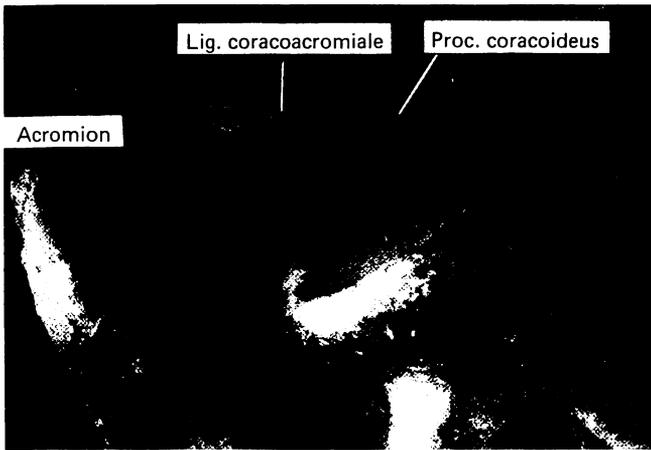
Für die Untersuchung standen uns 8 ausgesuchte Scapulae des Anatomischen Präparierkurses zur Verfügung (durchschnittlich erreichtes Lebensalter  $70 \pm 10$  Jahre). Zur Fixierung wurde ein 4%iges Formalin-Alkohol-Gemisch verwendet, in dem auch die Konservierung erfolgte. Die Zeitspanne von Fixierung bis Durchführung der Versuche betrug zirka 1 Jahr.

### Methode

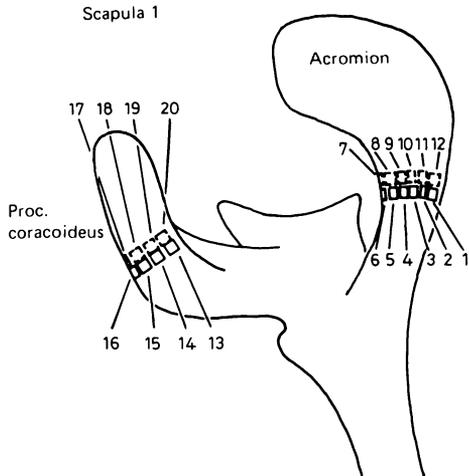
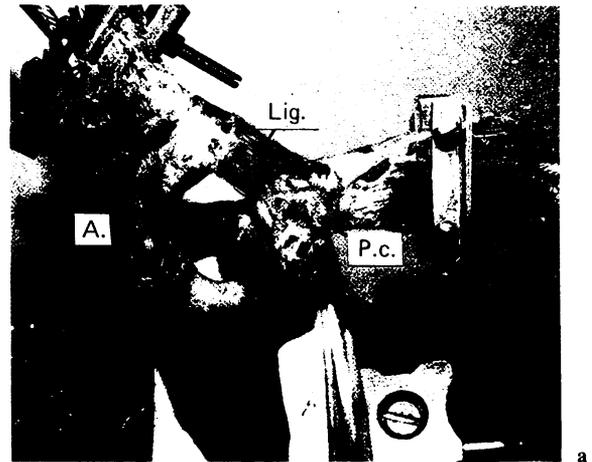
**Präparation.** Durch sorgfältige Präparation wurden Acromion, Proc. coracoideus und Lig. coracoacromiale freigelegt und die an den Knochenvorsprüngen entspringenden Muskeln jeweils auf eine Stumpflänge von etwa 5 cm gekürzt. Zur Abschätzung der wirkenden Muskelkräfte wurde an weiteren 15 Präparaten das Volumen der an Acromion und Proc. coracoideus entspringenden Muskeln bestimmt. Am Acromion betraf dies die Pars acromialis des M. deltoideus, am Proc. coracoideus die Mm. biceps brachii (Caput breve), coracobrachialis und pectoralis minor.

Unter Benützung der Angaben von von Lanz und Wachsmuth [1959] und unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Fiederung der beteiligten Muskeln bestimmten wir die in vivo auftretende Maximalkraft der am Proc. coracoideus entspringenden Muskeln auf etwa 18 kp. Für die Pars acromialis des M. deltoideus ergab sich in Analogie aus Volumen und Querschnittmessungen eine etwa dreimal so grosse physiologische Leistungsfähigkeit.

**Versuchsordnung.** Das Biegeverhalten der Knochenvorsprünge wurde mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS) ermittelt. Diese wur-



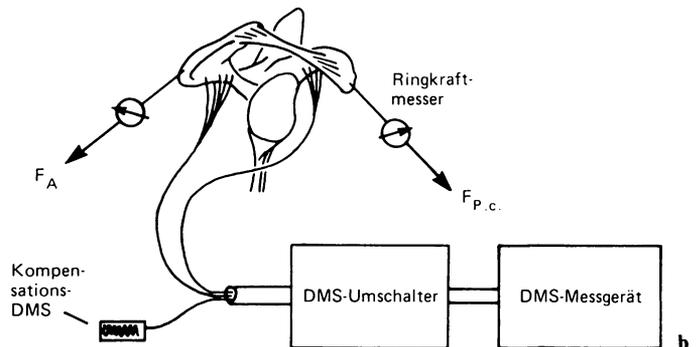
**Abb. 1.** Rechte Scapula von unten. Das Lig. coracoacromiale verbindet als dreieckige Platte Proc. coracoideus und Acromion. Die gestrichelte Linie bezeichnet die Abbildungsebene der Abbildung 6.



**Abb. 2.** Anbringung der DMS an Proc. coracoideus und Acromion.

den dazu mit einem geeigneten Klebstoff (X 60; Hottinger-Baldwin) an die dünnste Stelle der Knochenvorsprünge rundum geklebt (Abb. 2). Wir verwendeten sogenannte «metallische» DMS der Firma Hottinger-Baldwin des Typs LY 11 (Länge 0,6 mm, Widerstand 120  $\Omega$ ). Die DMS wurden entsprechend isoliert und über eine Wheatstonesche Brückenschaltung mit dem Messgerät, dem Messstellenumschalter und einem Kompensations-DMS verbunden (Abb. 3). Die Benützung eines Kompensations-DMS im selben Raum machte uns unabhängig von unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten und erhöhte die Messgenauigkeit.

Am Proc. coracoideus untersuchten wir das Biegeverhalten der an ihm befestigten Muskeln in drei unterschiedlichen Zugrichtungen: P.c. I: Frontalebene 60°, Sagittalebene 20°; dies entspricht 60° Anteversion im Schultergelenk. P.c. II: Frontalebene 40°, Sagittalebene 10°; dies entspricht 45° Anteversion im Schultergelenk. P.c. III: Frontalebene 0°, Sagittalebene 10°; dies entspricht 10° Anteversion im Schultergelenk. Am Acromion wurde Zug in zwei unterschiedlichen Richtungen ausge-

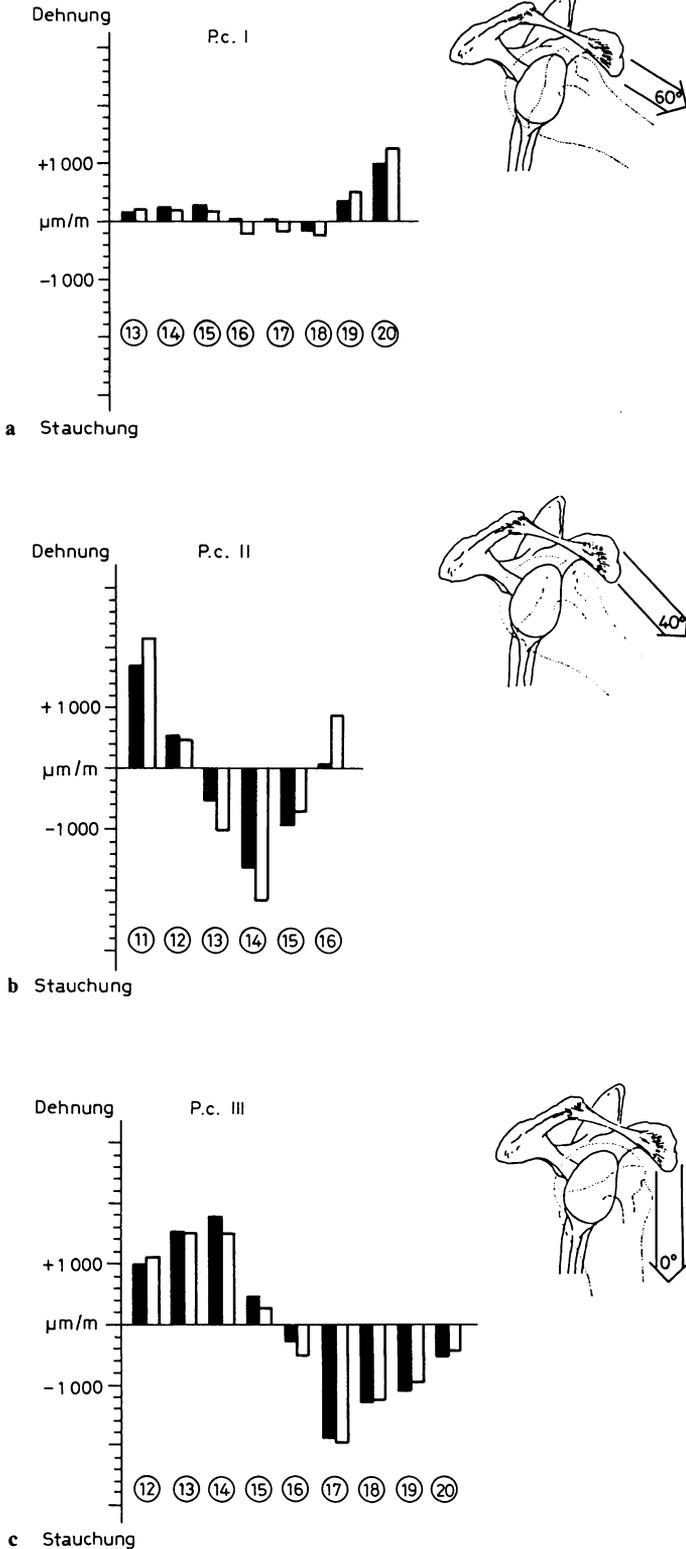


**Abb. 3.** Übersicht über die Versuchsanordnung. **a** Linke Scapula mit Klemmvorrichtungen an den Muskelstümpfen, Ansicht von oben. A. = Acromion; P.c. = Proc. coracoideus; Lig. = Lig. coracoacromiale. **b** Versuchseinrichtung. Schema mit rechter Scapula, Ansicht von rechts.

übt: A. I: Frontalebene 20°, Sagittalebene 70°, Transversalebene 20°; dies entspricht 80° Abduktion und 30° Retroversion im Schultergelenk. A. II: Frontalebene 30°, Sagittalebene 60°, Transversalebene 50°; dies entspricht 40° Abduktion und 45° Retroversion im Schultergelenk.

Zur Stabilisierung der Scapulae wurden die Präparate jeweils unterhalb der Spina in einen Gipsblock eingegossen. Damit konnte in unserer Versuchsanordnung die variable Auflage des Schulterblattes auf dem Thorax unberücksichtigt bleiben.

**Versuchsablauf.** Alle Zugversuche wurden in zwei Stufen ausgeführt: Stufe 1 mit einer Zugbelastung von 50 N, Stufe 2 mit einer Zugbelastung von 100 N. Bei diesen Kräftestufen handelt es sich, wie oben beschrieben, um physiologische Belastungen, die auch in vivo bei vielen Tätigkeiten erreicht werden. Die Messungen wurden in einem Zeitraum von 15–30 min nach Änderung der Zugkraft durchgeführt, nachdem sich die Messwerte stabilisiert hatten. Die Einleitung der Kräfte erfolgte über Drahtzüge, in die Spansschrauben und Ringkraftmesser integriert waren.



Aus den bei verschiedenen Zugrichtungen unterschiedlich grossen Dehnungswerten der DMS (Einheit: 1 digit = 1 µm/m) wurden die Maximalwerte der Dehnung bzw. Stauchung bestimmt. Daraus liessen sich einerseits der Grad der Biegung an sich, andererseits die Lage der Biegeebene bestimmen. Jeder einzelne Zugversuch wurde in jeder Zugrichtung dreimal hintereinander durchgemessen, um die Konstanz der Versuchsbedingungen zu überprüfen. Danach erst wurde das Band durchtrennt und die zweite Versuchsserie aufgenommen. Schliesslich wurden computertomographische Querschnittsbilder von Acromion und Proc. coracoideus hergestellt. Aus Gründen einer sicheren Interpretation des Biegeverhaltens wurde jeweils die dünnste Stelle gewählt, knapp unterhalb der Ebene, in der die DMS angebracht waren.

**Ergebnisse**

Zug auf den Proc. coracoideus nach vorne bewirkt je nach Zugrichtung in unterschiedlichem Masse an seiner Unter- und Vorderseite Stauchungen. Geringe Dehnungen werden vor allem an der Ober- und Hinterseite des Proc. coracoideus beobachtet. Durch die Zugwirkung des Lig. coracoacromiale wird auch das Acromion in ähnlicher Weise gebogen. An der Vorder- und Unterseite treten Stauchungen, an der Ober- und Hinterseite Dehnungen auf. Bei Zug nach dorsal ergeben sich vergleichbare Beobachtungen (Abb. 4, 5).

Eine Verdoppelung der Zugkraft von 50 auf 100 N ergibt eine Veränderung der Messwerte auf exakt doppelte bzw. halbe Werte, so dass hier der Übersichtlichkeit halber nur die Messwerte bei einer Zugkraft von 100 N dargestellt werden. Nach der Durchtrennung des Lig. coracoacromiale bleiben die Messwerte am jeweils nicht beanspruchten Knochenvorsprung nahe Null. Die Zugwirkungen am Proc. coracoideus einerseits und am Acromion andererseits führen nach Durchtrennung des Bandes zu einer von Präparat zu Präparat unterschiedlichen Lageänderung der Biegeebene. Das Ausmass der Biegung ist am Proc. coracoideus sowohl mit als auch ohne Band mit Messwerten, die das Doppelte der Ausgangswerte erreichen, relativ klein. Am Acromion dagegen werden Unterschiede der Stauchungs- bzw. Dehnungswerte mit und ohne Band bis zum Zehnfachen gemessen (Abb. 5b).

Die Lage der Biegeebenen ergibt sich zwanglos aus der Lage der maximalen Stauchungs- bzw. Dehnungswerte (Abb. 4, 5). Am Proc. coracoideus dreht sie sich je nach Versuchsanordnung bei allen Präparaten in gleicher Weise nur bis zu 10° in die Richtung der eingeleiteten Kraft. Am Acromion dagegen verhält sich jede untersuchte Scapula anders. An einem Präparat (A. II.; Abb. 5b) drehte sich die Biegeebene um 90° in Richtung des Zuges, an den anderen in gleicher Weise untersuchten Präparaten drehte sie sich nur um wenige Grade.

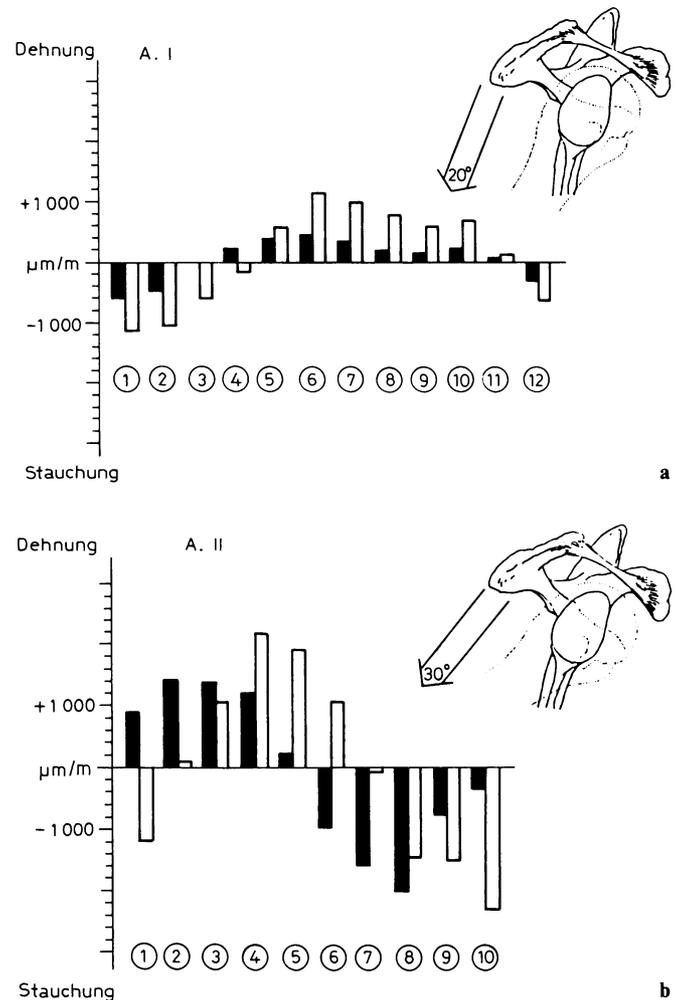
**Abb. 4.** Ergebnisse an den Messstellen des Proc. coracoideus. F = 100 N. Positionen der DMS (○) siehe Abbildung 2. **a** Zugversuch P.c. I. **b** Zugversuch P.c. II. **c** Zugversuch P.c. III. ■ = Mit Ligament; □ = ohne Ligament.

Die computertomographischen Querschnittsbilder zeigen einen unregelmässigen Umriss mit Kortikalisverdickungen und davon ausgehenden Knochenkanten. Die Densitometrie (Abb. 6) erbrachte, dass sich die höchste Knochendichte auf die laterale und auf die mediale Seite des 'Acromionhalses' konzentriert.

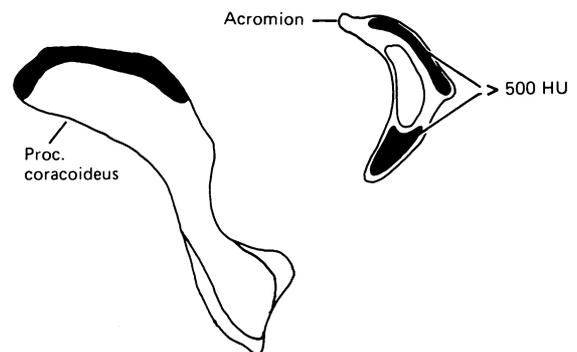
## Diskussion

Die Auswahl der Zugrichtungen in den Einzelexperimenten beruht auf der Überlegung, dass nur in bestimmten Haltungen des Schultergelenkes tatsächlich Zug auf das Lig. coracoacromiale ausgeübt werden kann. Natürlich können damit nur Einzelpositionen beschrieben werden, während im täglichen Leben ein grösserer Winkelbereich bestrichen wird. Dennoch sind wir der Auffassung, dass die gewählten Zugrichtungen repräsentativ sind.

Die an Proc. coracoideus und Acromion auftretenden Unterschiede der Messwerte nach der Durchtrennung des Lig. coracoacromiale sind ohne Zweifel Ausdruck der Wirkung des Bandes auf beide Knochenvorsprünge. Darin kann ein direktes Korrelat zur Leistung des Bandes gesehen werden. Vergleicht man das Biegeverhalten des Proc. coracoideus vor und nach Durchtrennung des Bandes mit dem Verhalten des Acromions, so zeigt sich, dass die Wirkung des Bandes auf das Acromion bis zum Dreifachen grösser ist. Der Proc. coracoideus ist demnach, was die Beanspruchung in Zugrichtung der untersuchten Muskeln betrifft, das wesentlich stabilere Element des Schulterdaches. Durch diese Befunde wird unserer Auffassung nach klar bewiesen, dass das Lig. coracoacromiale eine Zuggurtung der beiden Knochenvorsprünge des Schulterdaches darstellt. Diese Auffassung wird in Einzelaspekten von mehreren Autoren unterstützt. Tichy et al. [1985] sowie Tillmann und Tichy [1986] sehen das Lig. coracoacromiale als Zuggurtung für den Proc. coracoideus. Wasmer et al. [1985] weisen auf die besondere Zugfestigkeit des Lig. coracoacromiale hin, die nach ihren Untersuchungen den Kniebändern an Reissfestigkeit kaum nachsteht. Auch die geringere dynamische Verformbarkeit unterstützt diese Ansicht. Die vergleichende Studie von Hofmann et al. [1985] weist allgemein auf die biomechanische Bedeutung des Bandes hin. Interessanterweise hatten alle genannten Autoren nur die Zuggurtungswirkung auf den Proc. coracoideus vor Augen. Unsere Befunde erbrachten dagegen, dass das Lig. coracoacromiale für das Acromion eine wesentlich grössere Verspannungsbedeutung besitzt.



**Abb. 5.** Ergebnisse an den Messstellen des Acromions.  $F = 100 \text{ N}$ . Positionen der DMS (○) siehe Abbildung 2. **a** Zugversuch A. I. **b** Zugversuch A. II. ■ = Mit Ligament; □ = ohne Ligament.



**Abb. 6.** Nachzeichnung eines computertomographischen Querschnittsbildes (annähernd sagittale Ebene, siehe Abbildung 1). Das Dichtebereich von 500–800 HU (Hounsfield-Einheiten) ist mittels des Highlighting-Verfahrens hervorgehoben.

Die Lageänderung der Biegeebenen ist ebenfalls Ausdruck der Zuggurtungsfunktion des Lig. coracoacromiale. Bei erhaltenem Band liegt die Biegeebene für den Proc. coracoideus ungefähr so, wie sie theoretisch von Tillmann und Tichy [1986] angegeben wird. Nach Durchtrennung verschiebt sich die Biegeebene meist etwas in Richtung des Muskelzuges, was der Erwartung entspricht. Unsere Messwerte, die ohne Zweifel von den individuellen Querschnittskonturen des Proc. coracoideus der untersuchten Präparate stark beeinflusst sind, ergeben, dass die Vorstellungen von Tichy et al. [1985] vom Prinzip her richtig sind, dass die von ihnen aufgestellten Postulate im Experiment jedoch nicht in dieser Klarheit erreicht werden. Dies zeigt die Gegenüberstellung der Biegeebene vor und nach Durchtrennung des Bandes, wobei eine Winkeländerung zum Teil nur um wenige Grade in die zu erwartende Richtung eintritt.

Beim Acromion stimmt die Lageänderung der Biegeebene nicht bei jedem Präparat mit den Erwartungen überein. Der Grund dafür liegt unserer Ansicht nach darin, dass der Querschnitt des Acromions im Messbereich und proximal davon keine runde, regelmässige Form aufweist. Am Übergang der Spina scapulae zum Acromion ist die Kortikalis in zwei kompakten Knochenleisten angeordnet, die senkrecht zur Richtung der zu erwartenden Biegung ausgerichtet sind (Abb. 6). Bei einem runden Acromionquerschnitt ergäbe sich für alle Zugrichtungen von einem nach dorsal gerichteten Winkel zum Lig. coracoacromiale von mehr als 90° eine Biegeebene, die der jeweiligen Winkelsymmetrale entspräche. Beim Zugversuch A. II (Abb. 5a) konnte Biegung in dieser Ebene nachgewiesen werden. Sobald sich allerdings die Zugrichtung im Sinne zunehmender Retroversion ändert (Abb. 5b), verschiebt sich die Biegeebene sprunghaft im gleichen Sinn. Aus den Unterschieden ergibt sich, dass die Lage der Biegeebene des Acromions von der Form des Acromionquerschnittes massgeblich beeinflusst wird und dass eine Änderung der Biegeebene nur bei starkem Zug in extremer Retroversion möglich ist.

Tichy und Tillmann [1985] setzen sich auch mit der Frage der Anpassung an eine etwaige Biegebeanspruchung der beiden Knochenvorsprünge nach lateral auseinander. Ihre exakten Untersuchungen der Spongiosastruktur weisen auf eine Anpassung an Biegung nach lateral hin.

Die Verstärkungen der Kompakta des Acromions, wie sie im computertomographischen Querschnitt (Abb. 6) sichtbar werden, stellen die Pfeiler der spitzbogenartigen Anordnung der Spongiosa dar, was zusammen mit den übri-gen knöchernen Verstrebungen die geringe Beein-

flussbarkeit der Biegeebene leicht erklärt. Eine nur geringe Änderung der Biegeebene in die Zugrichtung der Muskulatur nach Durchtrennung des Ligaments fanden auch Wasmer et al. [1985].

Mehrere Autoren [Wasmer et al., 1985] haben darauf hingewiesen, dass die Gesamtmasse des Lig. coracoacromiale im höheren Alter abnimmt. Von dem ursprünglich dreiseitig flächigen Band bleiben schliesslich nur mehr zwei Faserzüge übrig, von denen der am weitesten lateral gelegene am stärksten bleibt. Diese Altersveränderung kann dahingehend interpretiert werden, dass mit zunehmendem Alter die Beanspruchung des Bandes abnimmt. Geht man davon aus, dass Zug auf das Acromion über die Pars acromialis des M. deltoideus vor allem in dynamischen Phasen und weniger in einer Dauerbeanspruchung ausgeübt wird, so passt dies gut in die Vorstellung, dass mit zunehmendem Alter die Gesamtaktivität abnimmt. Das Lig. coracoacromiale würde sich demnach als dynamische Zuggurtung zwischen den beiden Knochenvorsprüngen darstellen, eine Auffassung, die von Wasmer et al. [1985] einerseits mit dem Hinweis auf die geringe Dehnbarkeit dieses Bandes gestützt, andererseits wegen seiner Insertion an der Unterseite des Acromions wiederum mit Vorsicht betrachtet wird. Weiter lässt sich mit dieser Vorstellung auch die Tatsache erklären, dass nach der operativen Durchtrennung des Bandes, die nur bei Menschen mittleren und höheren Lebensalters durchgeführt wird, nie Veränderungen am Acromion und schon gar nicht am Proc. coracoideus beobachtet wurden. Natürlich muss an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass das Lig. coracoacromiale für das Acromion nicht die einzige Verspannung darstellt. Über die Spina scapulae und die Basis des Acromions ziehen von den Rändern der Scapula derbe, kollagene Faserzüge, die zusammen mit dem Ligament die ganze Scapula zu einem geschlossenen, verspannten System machen.

### Zusammenfassung

Mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen wurde an 8 Scapulae die Spannungswirkung des Lig. coracoacromiale auf Proc. coracoideus und Acromion untersucht. Über die an den Ursprüngen belassenen Muskelstümpfe wurden Zugkräfte von 50 bzw. 100 N in verschiedenen Zugrichtungen vor und nach Durchtrennung des Bandes eingeleitet. Es ergab sich, dass das Acromion nach Durchtrennung des Lig. coracoacromiale eine bis zu zehnfach stärkere Biegung als bei erhaltenem Band erfährt, während die entsprechenden Werte am Proc. coracoideus nur das Zweibis Dreifache erreichen. Daraus wird vor allem eine dynamische Zuggurtungsfunktion des Lig. coracoacromiale im besonderen für das Acromion abgeleitet. Das Band beeinflusst auch die Lage der Biegeebenen der beiden Knochenfortsätze.

## Literatur

- Eulert, J.; Apoil, A.; Dautry, P.: Zur Pathogenese und operativen Behandlung der sogenannten Periarthritis humeroscapularis. *Z. Orthop.* 119: 25–30 (1981).
- Hofmann, G.O.; Hagena, F.-W.; Wirth, C.J.; Weiss, E.P.: Vergleichende anatomische Studie zur Bedeutung des Ligamentum coracoacromiale beim Menschen und bei den Vertebraten; in Refior, Plitz, Jäger, Hackenbroch, Biomechanik der gesunden und der kranken Schulter, pp. 52–56 (Thieme, Stuttgart 1985).
- Lanz, T. von; Wachsmuth, W.: *Praktische Anatomie*; 2. Aufl., Bd. 1/3. Arm (Springer, Berlin 1959).
- Putz, R.; Reichelt, A.; Liebermann, J.; Eichhorn, M. von: Mechanische Beanspruchung des Proc. coracoideus unter verschiedenen Versuchsbedingungen; in Refior, Plitz, Jäger, Hackenbroch, Biomechanik der gesunden und der kranken Schulter, pp. 114–117 (Thieme, Stuttgart 1985).
- Reichelt, A.: Beitrag zur operativen Therapie der Tendinosis calcarea der Schulter. *Z. Orthop.* 119: 21–24 (1981).
- Tichy, P.; Tillmann, B.; Schleicher, A.: Funktionelle Beanspruchung des Fornix humeri; in Refior, Plitz, Jäger, Hackenbroch, Biomechanik der gesunden und der kranken Schulter, pp. 88–92 (Thieme, Stuttgart 1985).
- Tillmann, B.; Tichy, P.: Funktionelle Anatomie der Schulter. *Unfallchirurg* 89: 389–397 (1986).
- Wasmer, G.; Hagena, F.-W.; Bergmann, M.; Mittlmeier, T.: Anatomische und biomechanische Untersuchungen des Ligamentum coracoacromiale am Menschen; in Refior, Plitz, Jäger, Hackenbroch, Biomechanik der gesunden und der kranken Schulter, pp. 61–65 (Thieme, Stuttgart 1985).

Eingegangen: 20. März 1987

Angenommen: 2. Juni 1987

Prof. Dr. med. R. Putz

Lehrstuhl III, Anatomisches Institut

Albertstrasse 17

D-7800 Freiburg i.Br. (BRD)