

## **Einfluß der Muskelkontraktion auf das Verletzungsausmaß bei definierter, spitzer und scharfer Gewalt**

W. Weber

Abteilung Rechtsmedizin der Medizinischen Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Lochnerstr. 4–20, D-5100 Aachen, Bundesrepublik Deutschland

### **Influence of Muscle Contraction on Wound Measurements After Defined Dynamic Stabbing Tests**

**Summary.** The following questions were considered: Are the results of dynamic stabbing tests (experimentally taken from corpses) acceptable for forensic purposes? What about the influence of muscle contraction and wound measurements after defined violence? It could be demonstrated that in dynamic stabbing tests rigor mortis in muscle is equivalent to an extreme muscle contraction. It was easier to perforate a limb with stretched muscles than with relaxed ones. Very seldom people are wounded having stretched their muscles extremely. Therefore, quantitative results of dynamic stabbing tests in corpses represent the minimum of reconstructed stabbing dynamics in vivo.

**Key word:** Experimental violence, wound measurements

**Zusammenfassung.** Es war das Ziel dieser Arbeit, eine quantitative Vorstellung über den Einfluß der Muskelkontraktion auf das Ausmaß experimenteller Verletzungen zu gewinnen. Damit sollte eine Antwort auf die Frage gefunden werden, ob die am Corpus mortuum gewonnenen Erkenntnisse auf Schädigungen des lebenden Menschen übertragbar sind. Durch die vorgelegten Untersuchungsergebnisse ließ sich zeigen, daß der intravitale muskuläre Kontraktionszustand für die forensische Rekonstruktion bedeutungslos ist. Experimentelle Meßergebnisse von Stich- und Schnittversuchen am Corpus mortuum sind als Mindestintensitäten einer intravitalem Verletzungsdynamik zu werten.

**Schlüsselwort:** Experimentelle Verletzung, Verletzungsausmaß

Für den medizinischen Fortschritt sind biomechanische Untersuchungen am Corpus mortuum umstritten und doch notwendig. So interessieren besonders die verschiedenen Arten der Körperbelastung, d.h. die dabei auftretenden Kräfte,

Energien, Beschleunigungen je nach Lokalisation des Angriffs, die körpereigenen (Stütz-)Kräfte, die Deformationsarbeit und die Erträglichkeitsgrenzen. Die anfallenden Probleme werden von Biologen, Physiologen, Anatomen, Orthopäden, Verkehrsmedizinern und Rechtsmedizinern teilweise überschneidend und nach den ihnen eigenen Aspekten bearbeitet (Wöhlisch et al. 1926; Göcke 1934; Hallermann 1934; Schwarzacher 1942; Gögler 1961; Fiala 1961, 1969; Sellier 1961, 1971, 1972; Janssen 1963; Berg 1964; Schmidt 1968, 1978, 1979; Nahum et al. 1971; Fazekas et al. 1972; Dotzauer 1973; Voigt 1973; Schweitzer und Weber 1973; Weber et al. 1973, 1974; Naeve und Pause 1974; Kallieris et al. 1974; Beier et al. 1977; Böhm 1977; Magyar und Forster 1977; Tausch et al. 1978; etc.).

Aus forensischer Sicht stellt sich die Frage, ob die am Corpus mortuum experimentell gewonnenen Erkenntnisse auf Schädigungen am lebenden Menschen übertragbar sind und somit zur juristischen Urteilsfindung beitragen können. Im Gegensatz zur Betrachtungsweise des Naturwissenschaftlers kennt der Jurist bereits den „inkriminierten Effekt“ und sucht, ihn nach der Rechtsdogmatik zu analysieren und zu rekonstruieren. Diese juristische Einstellung auch zu biomechanischen Vorgängen wird besonders deutlich, wenn der Rechtsmediziner in foro gefragt wird, welche Mindestintensität für eine bestimmte Verletzung erforderlich ist. Am lebenden Menschen können verständlicherweise nur wenige relevante Erfahrungen gesammelt werden. Trotzdem postuliert diese juristische Frage nach der Mindestintensität eine quantitative Antwort des Sachverständigen, dessen Erfahrungen meist auf Untersuchungen am starren Corpus mortuum basieren. Der für den Zeitpunkt einer intravitalem Schädigung zufällige und variable Kontraktionszustand der Muskulatur läßt sich nicht rekonstruieren (Adebahr 1969). Die Totenstarre ist offensichtlich vom intravitalem Kontraktionszustand der Muskulatur abzugrenzen.

Es ist Ziel dieser Untersuchung, nach definierter Gewaltanwendung eine quantitative Vorstellung über den Einfluß der Muskelkontraktion auf das Ausmaß der Verletzung zu gewinnen.

### Theoretische Überlegungen

Es gibt aktiv und passiv entstandene Verletzungen durch mechanische Gewalt einwirkung. Dabei erfährt entweder das schädigende Agens eine Verzögerung durch den Widerstand des getroffenen Körpers, oder der auf einen ruhenden bzw. bewegten Widerstand prallende Körper erfährt selbst eine schädigende Verzögerung. Erst die Überschreitung von Elastizitätsgrenzen führt zu tiefgreifender Verletzung. Je länger die Verzögerungsstrecke der einwirkenden Gewalt ist, um so später werden die Elastizitätsgrenzen der getroffenen Gewebe erreicht und ohne Zerreißen toleriert. Beispiele:

- a) der definierte Druckschnitt in eine pralle oder weiche Frucht;
- b) der Aufprall eines Körpers aus gleicher Höhe auf harten Grund oder in ein nachgiebiges Polster.

Hinsichtlich der Verletzlichkeit von Körpergewebe allgemein und Muskulatur im besonderen lassen sich folgende alternative Spannungszustände als Extremvarianten vorstellen: eine weitgehende Muskelentspannung — etwa durch Gabe

von Muskelrelaxantien — und eine tetanische Dauerkontraktion. Nach gleichgroßer Gewalteinwirkung sind für diese Alternativbedingungen unterschiedliche Verletzungstiefen zu erwarten.

Bei vital entspannter Muskulatur ergibt sich die Rigiditätsminderung aus der verstärkten Verschieblichkeit von Aktin- und Myosinfilamenten in den Muskelfasern sowie aus der gegenseitigen Verschieblichkeit der Muskelbündel in den Logen. Die bindegewebigen und sehnigen Adhäsionen wie auch die Muskelumhüllungen verhindern jedoch bei mechanischer Beanspruchung ein freies Gleiten. Sie sind mitursächlich für die physiologische Vordehnung der Muskel-Ruhe-spannung. Selbst bei extremer isometrischer oder isotonischer Muskelkontraktion besteht der intravitale Spannungszustand immer nur für einen Teil der sich rhythmisch kontrahierenden Aktin-Myosinfilamente. Je nach Anzahl der aktivierten Fibrillen wird die Muskelkraft und somit die Muskelrigidität reguliert.

Es zeigt sich das Ausmaß der Muskelvordehnung nach Durchtrennung oder Lösung einzelner Muskelbündel von ihren Verbindungen in der Retraktion bzw. Kontraktion der freien Enden. Das gilt vital und postmortal. Diese Erkenntnisse sind geeignet, der vitalen Muskelentspannung und Muskelkontraktion postmortale Äquivalente gegenüberzustellen:

Durch Abtrennung der Muskelbündel von Ursprung und Ansatz sowie Lösung aus ihren Umhüllungen entfällt die physiologische Vordehnung. Zudem besteht für die Muskelstränge nunmehr die Möglichkeit, bei einwirkender Gewalt auszuweichen, nach allen Seiten frei gleitend. Wenn man vor der Abtrennung der Muskulatur die Totenstarre überwindet, so ist durch diese Manipulationen der Grad postmortaler Muskelentspannung ähnlich oder sogar größer anzusetzen als die vital erreichbare optimale Muskelentspannung. Der Chemismus der Totenstarre wird bei einer solchen Versuchsanordnung nicht beeinflusst.

In der postmortal vollständig starren Muskulatur sind durch Sauerstoffmangel und ATP-Verlust *sämtliche* Aktin-Myosinfilamente betroffen und in ihrer Verschieblichkeit gehemmt. Deshalb ist auch der postmortale Dehnungswiderstand des starren Muskels unter unbehandelten, intakten Verhältnissen größer als die Steifigkeit und Systemträchtigkeit einer intravitalem extremen Muskelkontraktion (Mangold 1921, 1922; Meixner 1923; Bethe 1924; Berg 1948; Laves 1948; Forster 1963; Schmidt et al. 1964; Freude 1970; Zink 1972; Krause und Zett 1973; Hasselbach und Kramer 1975; Mittmeier 1975; Ruegg 1976; Beier et al. 1977; etc).

Die Verletzungsdynamik von Stich und Schnitt eignet sich besonders wegen der übersichtlichen, reproduzierbaren und konstanten äußeren Bedingungen, die angestellten Überlegungen durch Serienuntersuchungen zu überprüfen.

### *Versuchsanordnung*

Nach bereits früher beschriebener Pendel-Methode (Weber und Schweitzer 1973, 1974) wurden von 20 Corpora mortua die Oberschenkelaußenseiten quer zur Längsachse in Höhe der Fascia lata mit einem Brotmesser ohne Knochenkontakt perforiert und die Eindringtiefen gemessen (Klingenlänge 15,5 cm, Klingbreite bis zu 2,2 cm, Dicke des Klingenrückens 0,2 cm, Spitzenwinkel 50°;  $p = 2,6 \text{ kg m/s}$ ;  $E_{\text{kin}} = 0,8 \text{ da Nm}$  ( $1 \text{ da Nm} = \text{ca. } 1 \text{ kp m}$ );  $v = 4,7 \text{ m/s}$ ). Während der Versuche waren die unteren Extremitäten in Streckstellung.

In einer zweiten Versuchsserie an 10 Individuen wurden zuvor Haut und Subkutanfett von der Oberschenkelinnenseite nach außen hinten bis zu den Streckmuskeln scharf abgetrennt. Sodann wurden Fascia lata, Beuge- und Streckmuskeln aus ihrer gegenseitigen bindegewebigen Haftung befreit. Durch kräftiges Beugen der großen Gelenke erfolgte die künstliche Überwindung der Totenstarre. Schließlich wurden die vorderen, sowie die seitlich innen und außen liegenden Muskelgruppen 6 cm oberhalb der Kniescheibe und unterhalb der Leiste quer durchschnitten. Die gelösten und frei gegeneinander gleitfähigen Muskelstränge wurden in ihrer Topographie belassen und von der nunmehr locker adaptierten Haut — einschließlich Fascia lata — zusammengehalten.

Das arithmetische Mittel der Eindringtiefen von 100 Stich-Schnitt-Versuchen an den so artefiziell entspannten Oberschenkeln wird mit jenem verglichen, welches zuvor bei totenstarrten und intakten Verhältnissen nach 210 Einzelversuchen gewonnen wurde.

### Ergebnisse und Diskussion

In den beiden ersten Tagen postmortal erfährt die Haut keine Veränderungen ihrer Elastizität und Zugfestigkeit; selbst an Hautstreifen, die bei Zimmertemperatur in feuchter Kammer aufbewahrt werden, hat Zink (1965) keine Änderung der mechanischen Meßgrößen festgestellt.

In einem von uns beobachteten Fall haben bei einem Tötungsdelikt Stöße mit einem 1 cm breiten, stumpfen Schraubenzieher die Interkostalmuskulatur und das Rippenfell perforiert, nicht aber die darüberliegende Haut. Trotz solcher Befunde wissen wir heute, daß der Hautwiderstand nicht immer der größte des Weichgewebes ist (Weber et al. 1973; 1974). Die Inhomogenität der Weichgewebe bedingt die Notwendigkeit, durch experimentelle Serienuntersuchungen den relevanten Erfordernissen nach Lokalisation, Verletzungsausmaß und Tatmittel Rechnung zu tragen. Auf diese Weise werden Ergebnisschwankungen quantitativer Untersuchungen in engen Grenzen gehalten.

Zahlreiche Autoren haben sich damit beschäftigt, die mechanischen Eigenschaften isolierter und zusammenhängender Arten der Körpergewebe zu prüfen (Bethe 1924; Steinhausen 1924; Rössle 1927, 1929; Panning 1939; Wenzel 1950; Forster 1963; Sellier 1965; Zink 1965; Beck 1968; Fazekas et al. 1968; Schmidt 1968; Vinz 1970, 1971; Kallieris 1971, 1973, 1974; Hartung et al. 1973, 1975; Arnold 1974; Kapusz 1975; Christmann et al. 1976; etc.). Nach bisheriger Literatur ist jedoch der quantitative Einfluß unterschiedlich kontrahierter Muskulatur bei experimenteller Verletzung nicht Gegenstand naturwissenschaftlicher Untersuchungen gewesen.

Die bei der oben dargestellten Versuchsanordnung an den intakten Oberschenkelaußenseiten von 20 Corpora mortua verursachten Gewebsdurchtrennungen ergaben eine durchschnittliche Eindringtiefe von 12,2 cm. Dabei zeigte sich, daß trotz der konstant reproduzierbaren äußeren Bedingungen der erste von fünf Einstichen im Abstand von 2 bis 3 cm nicht oder nur selten die größte Eindringtiefe im Zielgebiet einer Extremität erreichte. Dies traf sowohl für die Stichfolge von proximal nach distal zu als auch für die umgekehrte Stich-

Applikation. Eine Erklärung hierfür wird in der Inhomogenität der verschiedenen perforierten Gewebe gesehen.

Für die Versuchsserie an den 20 artefiziell entspannten Oberschenkeln betrug die durchschnittliche Eindringtiefe unter sonst gleichen Bedingungen 9,4 cm. Sie ist etwa  $\frac{1}{4}$  kleiner als bei intakter totenstarrer Oberschenkelmuskulatur. Die oben angestellten theoretischen Überlegungen werden somit durch die Versuchsergebnisse bestätigt. Auch in dieser Serie gab es keine Abhängigkeit der Eindringtiefen von der Stichreihenfolge.

Das Ergebnis der vorgestellten Versuche beweist somit, daß bei gleichgroßer Stoßintensität spitzer und scharfer Gewalt die Verletzlichkeit bei totenstarrten, intakten Verhältnissen größer ist als nach artefizieller Entspannung.

Es besteht eine Übereinstimmung mit Erkenntnissen, wie sie in der Literatur für isolierte Skelettmuskulatur beschrieben werden, die aber bislang für die Klärung praktischer, forensischer Fragen wenig geeignet waren:

Nakamura (1924) wies nach Dehnungsversuchen an Frosch-Gastrocnemien auf die leichte Zerreißlichkeit der totenstarrten Muskeln hin, die er auf eine „Atomisierung der kontraktiven Muskelteilchen“ zurückführte. Forster (1963) zeigte an Ratten-Gastrocnemien, daß die Steifigkeit des totenstarrten Muskels 2,9fach größer ist als bei lebensfrischen Muskeln. Die Zerreißfestigkeit des totenstarrten Muskels verminderte sich auf ca. 0,4 bis 0,6 N/mm<sup>2</sup>, während die lebensfrischen Muskeln eine Zerreißfestigkeit von 0,8 N/mm<sup>2</sup> aufwiesen. Bate Smith (1939) beobachtete an Kaninchenmuskeln während der Totenstarre eine Zunahme des Elastizitätsmoduls um das ca. 10- bis 40fache. Mangold (1922) fand mit einem von ihm entwickelten Sklerometer an Kaninchenmuskeln eine Härtezunahme während der Ausbildung der Totenstarre. Dies wurde von Freude (1970) bestätigt. Zink (1972) verglich das Verhalten totenstarrer und lebensfrischer Muskeln nach Dehnungsversuchen. Dabei lag die Zerreißfestigkeit der frischen Muskelfasern 1,6- bis 1,7fach höher als bei totenstarrten Muskelfasern. Damit bestätigte er die Ergebnisse von Nakamura und Forster. In einer weiteren Untersuchung beobachtete Zink (1972) den Verlauf der Totenstarre, indem er mechanische Eigenschaften menschlicher Muskeln längere Zeit postmortal untersuchte. Nach dem Tod erschlaffte und verlängerte sich zunächst die Muskulatur. Die plastischen Eigenschaften waren vermindert. Nach 6 bis 10 Stunden folgte eine 2- bis 3stündige Erstarrungsphase mit Zunahme der Steifheit bei geringen Dehnungen und Abnahme der Plastizität. Bis zum 5. Tag postmortal fanden sich keine wesentlichen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften. Zwischen dem 5. und 7. Tag postmortal trat eine bleibende Verlängerung der Muskeln bei Verstärkung der Plastizität auf. Die Totenstarre begann in situ an den unteren Extremitäten regelmäßig 1 h früher als an isolierten Muskeln. Beck (1968) konnte bei der Prüfung von Dehnbarkeit und Zerreißfestigkeit totenstarrer, menschlicher Skelettmuskeln keine relevanten Unterschiede zwischen Alter und Geschlecht der Individuen erkennen.

Faßt man diese Erkenntnisse, die theoretische Erörterung und die vorgestellten Untersuchungsergebnisse zusammen, so ist davon auszugehen, daß die intravitale mechanische Gewalt-Einwirkung nur in seltenen Fällen einen Körperteil mit extrem kontrahierter Muskulatur trifft. Deshalb sind bei gleichgroßen Stoßintensitäten am starren Corpus mortuum schwerere Verletzungen zu erwarten als

am lebenden Individuum. Experimentelle Meßergebnisse von Stich- und Schnittversuchen am *Corpus mortuum* können somit für die forensisch diskutierte, intravitale Verletzungsdynamik als Mindestintensitäten gewertet werden. Der intravitale muskuläre Kontraktionszustand während einer Stich-Schnitt-Schädigung ist unter forensischen Aspekten somit bedeutungslos.

Die Differenzierung und Quantifizierung von Verletzungen durch *stumpfe* Gewalt stößt wegen der intravitale Schädigungsvielfalt auf kaum überwindbare Schwierigkeiten. Das gilt besonders für scheinbar oberflächliche Verletzungen. Obwohl sich die Gültigkeit der mitgeteilten Untersuchungsergebnisse im Prinzip auch auf Verletzungen durch stumpfe Gewalt erstreckt, findet die Rekonstruktion der ursächlichen Traumatologie hier ihre Grenzen.

## Literatur

- Adebahr G (1969) Der forensische Beweiswert von Befunden an der Leiche. *Beitr Gerichtl Med* 25:44
- Arnold G (1974) Biomechanische und rheologische Eigenschaften menschlicher Sehnen. *Z Anat Entwickl Gesch* 143:263
- Bate Smith EC (1939) Changes in elasticity of mammalian muscle undergoing rigor mortis. *J Physiol* 96:176
- Beck R (1968) Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften des totenstarren menschlichen Skelettmuskels. *Med Diss in Erlangen/Nürnberg*
- Beier G, Liebhardt E, Schuck M, Spann W (1977) Totenstarremessungen an menschlichen Skelettmuskeln in situ. *Z Rechtsmed* 79:277
- Berg S (1948/49) Nervensystem und Totenstarre. *Dtsch Z Gerichtl Med* 39:429
- Berg S (1964) Die Durchschlagkraft von Pistolengeschossen im menschlichen Körper. *Arch Kriminol* 134:17
- Bethe A (1924) Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften der Muskeln bei verschiedenen funktionellen Zuständen. I. Mitteilung: Einführung und neue Methode der Zug-Elastizität. *Pflügers Arch Physiol* 205:63
- Böhm W, Knappworst J, Sellier K, Walter R (1977) Die Wirkung von Geschossen verschiedener Bauart auf den menschlichen Körper. *Arch Kriminol* 160:163
- Brinkmann B, Kleiber M (1978) Zur Morphologie von Schraubenzieher-Stichverletzungen. *Arch Kriminol* 161:31
- Christmann C, Ehler E, Graef W (1976) Der Elastizitätsmodul am menschlichen Röhrenknochen unter statischen und dynamischen Bedingungen. *Dtsch Gesundh Wes* 31:1151
- Dotzauer G, Hinz P, Lange W (1973) Das Verhalten menschlicher Körper und anthropometrischer Puppen im Sicherheitsgurt bei der Simulation von schweren Frontalzusammenstößen. *Z Rechtsmed* 72:8
- Fazekas Gy, Kosa F, Basch A (1968) Über die Reißfestigkeit der Haut verschiedener Körperregionen. *Dtsch Z Gerichtl Med* 64:62
- Fazekas Gy, Kosa F, Jobba Gy, Bajnoczky I, Szendrenyi J (1972) Untersuchungen mechanischer Faktoren bei experimentellen Stichverletzungen. *Z Rechtsmed* 70:223
- Fazekas Gy, Kosa F, Bajnoczky I, Jobba Gy, Szendrenyi J (1972) Mechanische Untersuchung der Kraft durchbohrender Einstiche an der menschlichen Haut und verschiedenen Kleidungsschichten. *Z Rechtsmed* 70:235
- Feneis H (1935) Über die Anordnung und die Bedeutung des Bindegewebes für die Mechanik der Skelettmuskulatur. *Morpholog Jahrb* 78:161
- Fiala E (1961) Physik des Verkehrsunfalls. *Hefte Unfallheilkd* 66:231
- Fiala E (1969) Zur Verletzungsmechanik bei Verkehrsunfällen. *Hefte Unfallheilkd* 98:31
- Forster B (1963) The plastic and elastic deformation of skeletal muscle in rigor mortis. *J Forensic Med* 10:91

- Freude W (1970) Untersuchungen über den Eintritt der Totenstarre an isolierten menschlichen Skelettmuskelfasern unter dem Einfluß von ATP. Med Diss Erlangen/Nürnberg
- Göcke C (1934) Statik und Dynamik der Baustoffe des menschlichen Körpers. Verh Dtsch Orthpäd Ges, 29. Kongreß in Dortmund, S 360–364
- Gögler E (1961) Biomechanik des Verkehrsunfalls. Hefte Unfallheilkd 66:235
- Gögler E (1961) Mehrfachverletzungen und Unfallmechanismen im Straßenverkehr. Hefte Unfallheilkd 66:238
- Hallermann H (1934) Die Beziehungen der Werkstoffmechanik und Werkstoffforschung zur allgemeinen Knochenmechanik. Verh Dtsch Orthpäd Ges, 29. Kongreß in Dortmund, S 347–360
- Hartung C, Arnold G (1973) Histomechanische Eigenschaften peripherer Nerven. Nervenarzt 44:80
- Hartung C, Arnold G, Gross F (1975) Biomechanik des hyalinen Knorpels unter Druckschwellbeanspruchungen. Act Anat 91:583
- Hasselbach W, Kramer K (1975) Muskel. Physiologie des Menschen, Bd 4. Urban u Schwarzenberg, München
- Janssen W (1963) Experimentelle Untersuchungen zur Beziehung zwischen Tatwerkzeug und Platzwunde unter besonderer Berücksichtigung von Kantenverletzungen. Dtsch Z Gerichtl Med 54:240
- Kallieris D (1971) Härtemessungen an frischen menschlichen Knochen. Z Rechtsmed 68:164
- Kallieris D, Genser J (1973) Härtemessungen an frischen menschlichen Femora. Z Rechtsmed 71:293
- Kallieris D, Schmidt G (1974) Belastbarkeit gurtgeschützter menschlicher Körper bei simulierten Frontalaufprallen. Z Rechtsmed 74:31
- Kallieris D (1974) Eine Fallgewichtsbeschleunigungsanlage zur Simulation von Aufprallunfällen — Prinzip und Arbeitsweise. Z Rechtsmed 74:25
- Kallieris D, Kleiber J, Schmidt G (1976) Die Beanspruchung des Thoraxskelettes eines mit 3-Punkt-Gurt gesicherten Insassen. Beitr Gerichtl Med 34:103
- Kapusz N (1975) Statische und dynamische Biegefestigkeit von Knochenstreifen aus der Schädelkalotte. Z Rechtsmed 76:37
- Koops E, Möller G, Janssen W (1977) Zur Wundballistik verbotener Revolvermunition (Teilmantel-Hohlspitzgeschosse). Arch Kriminol 160:156
- Krause D, Zett L (1973) Physiologische und morphologische Untersuchungen zu Mechanismus und Verlauf der Totenstarre. Z Rechtsmed 72:245
- Laves W (1948/49) Über die Totenstarre. Z Gerichtl Med 39:186
- Lexer EW (1929) Untersuchungen über die Knochenhärte des Humerus. Z Konstit Lehre 14:227
- Magyar Z, Forster P (1977) Stoßversuche an Leichen zur Ermittlung der Belastbarkeit von Kopf, Brust, Becken und Knie. Med Diss Heidelberg
- Mangold E (1921) Der Verlauf der Totenstarre am isolierten und am in situ belassenen Skelettmuskel von Säugern. Pflügers Arch 189:99
- Mangold E (1922) Die Totenstarre. Naturwissenschaften 10:895
- Mangold E (1922) Untersuchungen über Muskelhärte. 1. Mitteilung. Eine allgemein anwendbare Methode zur physiologischen Härtebestimmung. Pflügers Arch Physiol 196:200
- Mangold E (1922) Untersuchungen über Muskelhärte. 2. Mitteilung. Die Härtemessung in Totenstarre und Wärmestarre. Pflügers Arch Physiol 196:215
- Meixner K (1923) Die Totenstarre beim Menschen. Dtsch Z Gerichtl Med 2:398
- Mittmeyer H-J (1975) Verteilungsmuster der Totenstarre in verschiedenen Gelenkbereichen. Beitr Gerichtl Med 33:85
- Naeve W, Bause HW (1974) Experimentelle postmortale Kopf- und Hirnverletzungen. Z Rechtsmed 74:187
- Nahum AM, Gadd CW, Schneider DC, Kroell CK (1971) The biochemical basis for chest impact protection: 1. Force-deflection characteristics of the thorax. J Traumatol
- Nakamura T (1924) Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften der Muskeln bei verschiedenen funktionellen Zuständen. 3. Mitteilung. Die Änderung der Zugresistenz des quergestreiften Kaltblütermuskels während der Toten- und Wärmestarre. Pflügers Arch Physiol 205:95

- Panning G (1939) Zur Frage der Widerstandsfähigkeit des Knochengewebes gegen Gewaltwirkungen im Leben und nach dem Tode. *Beitr Gerichtl Med* 15:84
- Rössle R (1927) Untersuchungen über Knochenhärte. *Beitr Pathol Anat* 77:174
- Rössle R (1929) Versuche über die Schlagfestigkeit des menschlichen Oberschenkelknochens. *Beitr Pathol Anat* 83:261
- Ruegg JC (1976) Muskel. In: Schmidt RF, Thews G (Hrsg) Einführung in die Physiologie des Menschen. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Schmidt G (1968) Hauttopik und Verletzungsspuren. *Z Gerichtl Med* 62:87
- Schmidt G (1978) Verletzungsschwere und Aufprallgeschwindigkeit. *Hefte Unfallheilkd* 132:24
- Schmidt G (1979) Biomechanische Belastbarkeit menschlicher Körperteile. *Sicherheitsingenieur* 10:26
- Schmidt O, Forster G, Döring G, Schulz G (1964) Untersuchungen über die kontraktile, elastische und plastische Verformung des totenstarrten Muskels und die Beziehungen der Starre zum postmortalen Stoffwechsel. *Act Med Leg Soc (Liege)* 17 [4]:37
- Schwarzacher W (1942) Beiträge zur Physik des Messerstiches. Aus den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften. *Wien Mathemat Naturw Kl Abt IIa, Bd 151*
- Schweitzer H, Weber W (1974) Genormte Stichversuche aus schräger Richtung. *Beitr Gerichtl Med* 32:233
- Sellier K (1961) Biomechanik des Schädelhirntraumas. *Hefte Unfallheilkd* 66:251
- Sellier K (1965) Zur Mechanik des Knochenbruchs. *Dtsch Z Gerichtl Med* 56:341
- Sellier K (1971) Das Schädel-Hirn-Trauma. Neuere Erkenntnisse und Zusammenstellung von Toleranzwerten von knöchernem Schädel und Gehirn bei mechanischer Gewalteinwirkung. *Z Rechtsmed* 68:239
- Sellier K (1972) Biomechanik des Traumas. *Beitr Gerichtl Med* 29:60
- Steinhausen W (1924) Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften der Muskeln bei verschiedenen funktionellen Zuständen. 2. Mitt. Zur Theorie des ballistischen Elastometers. *Pflügers Arch Physiol* 205:76
- Tausch D, Sattler W, Wehrfritz K, Wehrfritz G, Wagner HJ (1978) Experiments on the penetration power of various bullets into skin and muscle tissue. *Z Rechtsmed* 81:309
- Weber W, Schweitzer H, Milz U (1973) Stichdynamik im menschlichen Körpergewebe. *Z Rechtsmed* 73:295
- Weber W, Schweitzer H, Milz U (1974) Beitrag zur Aufklärung der Stichdynamik. *Kriminalistik* 1:24
- Weber W (1974) Quantitative Untersuchungen über Stichverletzungen am menschlichen Schädel. *Z Rechtsmed* 74:111
- Weinig E, Zink P (1967) Über mechanische Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut. *Dtsch Z Gerichtl Med* 60:61
- Wenzel H-G (1950) Untersuchungen einiger mechanischer Eigenschaften der Haut insbesondere der Striae cutis distensae. *Virchows Arch* 317:654
- Wöhlisch E, du Mesnil de Rochemont R, Gerschler H (1926) Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften tierischer Gewebe. I. Elastizitätsmodul, Zerreißfestigkeit, Arbeitsvermögen und elastische Vollkommenheit. *Z Biologie* 85:325
- Vinz H (1970) Änderung der Festigkeitseigenschaften des kompakten Knochengewebes im Laufe der Altersentwicklung. *Morphol Jahrb* 115:257
- Vinz H, Garz K-F (1971) Ursachen und Ausmaß der erhöhten Knochenbrüchigkeit im Greisenalter. *Beitr Orthop* 18:383
- Voigt GE, Lange W, Dotzauer G (1973) Efficacy of air bags—a pilot study on cadavers. *Z Rechtsmed* 72:22
- Voigt GE, Lange W, Dotzauer G (1973) Entstehungsweise der Verletzungen von Fahrern und Beifahrern frontal kollidierender Fahrzeuge. *Z Rechtsmed* 73:255
- Zink P (1965) Methoden zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut. *Dtsch Z Gerichtl Med* 56:249
- Zink P (1972) Das mechanische Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre. *Z Rechtsmed* 71:47
- Zink P (1972) Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln. *Z Rechtsmed* 70:163