

## Zerreifestigkeit der proximalen Nervenstämme der unteren Extremität

I. GY. FAZEKAS, F. KSA, J. SZENDRNYI, GY. JOBBA und I. BAJNCZKY

Gerichtsmedizinisches Institut der Universität Szeged (Ungarn)

Eingegangen am 17. Dezember 1971

### The Tensile Strength of the Proximal Nerve-Plexus of the Under Extremities

*Summary.* The authors investigated the specific extension ( $\epsilon$ ) and the tensile strength ( $\sigma_{dB}$ ) of the proximal nerve-trunks of the nervus ischiadicus and nervus femoralis of 34 corpses (20 males, 14 females) by means of an electric tensile testing-machine which is in use in the textil industry.

According to their investigations in the case of *n. femoralis* on the nerve-trunk a total continuity interruption caused a  $19.21 \pm 7.76$  kp tensile force; by a  $0.15 \pm 0.05$  specific extension; by  $129.30 \pm 55.04$  kp/cm<sup>2</sup> tensil tension. In the case of *n. ischiadicus* a penetrating continuity interruption occurred by  $0.15 \pm 0.04$  specific tension; on the effect of a  $45.70 \pm 9.3$  kp tensile force; by a  $110.26 \pm 39.09$  kp/cm<sup>2</sup> tensil tension.

From legal medicine and traumatic point of view the results of the authors investigations on isolated nerve-trunk injuries furnish numerical data for the estimation of the extent of the force effect.

*Zusammenfassung.* Mittels einer Textilindustrie-Zerreißmaschine wurden die spezifische Dehnung ( $\epsilon$ ) und die Zerreißfestigkeit ( $\sigma_{dB}$ ) der proximalen Nervenstämme des Nervus femoralis und Nervus ischiadicus von 34 (20 männlichen und 14 weiblichen) menschlichen Leichen geprüft.

Im Falle des *N. femoralis* kam eine totale Kontinuitätsunterbrechung auf die Einwirkung von  $19,21 \pm 7,76$  kp Zerreikraft bei  $0,15 \pm 0,05$  spezifischer Dehnung und  $129,30 \pm 55,04$  kp/cm<sup>2</sup> Zerreißspannung zustande. Beim *N. ischiadicus* bedurfte es zur völligen Kontinuittsaufhebung einer Zerreikraft von  $45,70 \pm 9,3$  kp bei  $0,15 \pm 0,04$  spezifischer Dehnung und  $110,26 \pm 39,09$  kp/cm<sup>2</sup> Zerreißspannung.

Bei der Untersuchung isolierter Nervenstammverletzungen von gerichtsmedizinischem und traumatologischem Gesichtspunkt liefern diese Befunde zahlenmäßige Daten zur Beurteilung der stattgehabten Krafteinwirkung.

*Key words:* Traumatologie, Zerreißfestigkeit von Nerven — Zerreißfestigkeit, von Nerven der unteren Extremität.

*Bemerkung.* Die Einzelergebnisse der Untersuchungen wurden in Tabellen niedergelegt; sie können aber wegen Platzmangels nicht abgedruckt werden. Die Verfasser sind bereit, Photokopien der Tabellen auf Anforderung denen, die sich dafür interessieren, zuzustellen.

Bei der Untersuchung isolierter Nervenstammverletzungen von gerichtsmedizinischem oder traumatologischem Gesichtspunkt kann mitunter die Beurteilung der Größe der die Verletzung hervorrufenden Krafteinwirkung erforderlich werden. In der Literatur stehen aber Angaben, auf Grund derer die Größe der die Nervenverletzung hervorrufenden Kraft geschtzt werden könnte, nicht zur Verfügung [1—13, 15, 16, 18—42, 44—51].

In einem konkreten Expertenfall (Schadenersatzklage) hatten wir zu entscheiden, ob die peripherisch-motorische Lähmung der unteren Extremität infolge der Durchtrennung motorischen Fasern (Wurzel) während der Operation, Zerrung der Nervenwurzel (traumatische Quetschung) inter operationem bzw. infolge Ldierens mit der Pinzette eingetreten war. Bei dem Kranken war nämlich wegen der seit Jahren bestehenden, äußerst heftigen ischialgischen, rezidivierenden Beschwerden eine Hemilaminektomie in Höhe des L<sub>III</sub>-Wirbelkörpers vorgenommen worden. Da anläßlich der Reoperation eine Discus-Hernie nicht gefunden wurde, hatte wegen der unerträglichen Schmerzen eine Radicotomia posterior in Höhe der Wirbelkörper L<sub>IV</sub> und L<sub>V</sub> stattgefunden, worauf die Extensoren des Fußrückens plegisch geworden und trophische Störungen (Abscesse) aufgetreten waren.

Watson-Jones unterscheidet drei Gruppen von Nervenverletzungen: 1. mit totaler Trennung des Nervenstammes einhergehende Verletzungen, 2. partielle Kontinuitätsunterbrechung mit gleichzeitiger Quetschung des Nervenstammes und 3. einen vorübergehenden (funktionellen) Nervenblock. Alle drei Verletzungstypen kommen vorwiegend bei Stich- und Schnittverletzungen vor, können aber auch bei verschiedenen Frakturen zur Entstehung gelangen: z. B. kann bei mit Ellbogengelenksdislokation einhergehenden Frakturen der Nervus ulnaris zerreißen oder beschädigt werden (Gordon et al.).

Als Fortsetzung unserer früheren Untersuchungen bezüglich der Zerreißfestigkeit der Nervenstämme der oberen Extremitäten [14] gibt die vorliegende Mitteilung unsere Ergebnisse bezüglich der Zerreißfestigkeit der Nervenstämme der unteren Extremität bekannt.

### Untersuchungsmaterial und Methodik

Die Untersuchungen erfolgten im Szegeder gerichts-medizinischen Institut an 34 (20 ♂ und 14 ♀) Leichen, die binnen 6—72 Std nach Eintritt des Todes obduziert worden waren. Der Stamm des Nervus ischiadicus wurde in der Glutealbeuge und der Nervus femoralis in der Inguinalbeuge in rund 10 cm Länge herauspräpariert und dabei die möglichste Schonung des Perineurium geachtet. Zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit und spezifischen Dehnung der Nervenstämme diente eine elektrisch betriebene Zerreißmaschine, wie sie in der Textilindustrie benutzt wird. (Anstatt einer ausführlichen Beschreibung der angewandten Methodik sei auf früher erschienene Arbeiten über die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Gewebe [4—14] verwiesen.)

Zur Analysierung der mechanischen Eigenschaften der Nervenstämme wurde die spezifische Dehnung und die Zerreißspannung untersucht.

a) *Die spezifische Dehnung* ( $\epsilon$ ) bringt die für das untersuchte Gewebe typische, auf 1 cm Strecke des Materials entfallende, bis zum Eintritt des Zerreißens zustandekommende Dehnung zum Ausdruck.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}.$$

$\Delta l$  = die Längenveränderung (mm);  $l_0$  = die ursprüngliche Länge (mm);  $l$  = die Länge nach der Dehnung (mm).

b) *Die Zerreißspannung* ist gleich dem Quotienten der Zug-Zerrei-Kraft und des untersuchten Querschnitts.

$$\sigma_{dB} = \frac{P_{\max}}{F_0} \text{ kp/cm}^2.$$

$P_{\max}$  = die im Moment des Zerreißens zur Geltung kommende Krafteinwirkung in Kilopond (kp);  $F_0$  = der Querschnitt vor der Dehnung in Quadratzentimeter.

Der ursprüngliche (vor der Dehnung gemessene) Querschnitt wurde — wie auch in unserer früheren Arbeit [14] — auf Grund des Durchschnitts der beiden zueinander vertikalen Durchmesser bestimmt.

### Ergebnisse und Besprechung

Die Untersuchungen wurden am proximalen Nervenstamm des N. femoralis von 19 männlichen und von 14 weiblichen Leichen durchgeführt. Für die spezifische Dehnung und die Zerreißfestigkeit dieser Nervenstämme haben wir die Mittelwerte, die ihnen zugehörigen Streuungen, die Mittelfehler und der Wert der Variationskoeffizienten angegeben.

Die *spezifische Dehnung* des N. femoralis betrug bei Männern  $0,13 \pm 0,04$ , bei Frauen  $0,17 \pm 0,07$  und die *Zerreißspannung* bei Männern  $135,3 \pm 53,8$  kp/cm<sup>2</sup>, bei Frauen  $121,1 \pm 57,7$  kp/cm<sup>2</sup>. Im Falle des N. femoralis zeitigte bei Männern eine *Zug-Zerrei-Kraft* von durchschnittlich  $20,0 \pm 12,5$  kp und bei Frauen von  $18,1 \pm 9,2$  kp eine Kontinuitätsunterbrechung am Nervenstamm.

Für die spezifische Dehnung und die Zerreißfestigkeit des Nervenstammes des N. ischiadicus aus 20 männlichen und aus 14 weiblichen Leichen haben wir die folgenden Werte bekommen. Bei Männern ergaben sich für die *spezifische Dehnung* des N. ischiadicus Werte von  $0,14 \pm 0,04$  und bei Frauen von  $0,18 \pm 0,05$ , während die *Zerreißspannung* bei Männern  $103,3 \pm 31,3$  kp/cm<sup>2</sup> und bei Frauen  $120,1 \pm 47,6$  kp/cm<sup>2</sup> betrug. Bei Männern wurde eine Kontinuitätsunterbrechung durchschnittlich durch  $45,5 \pm 9,33$  und bei Frauen durch  $46,0 \pm 9,6$  kp Zerreikraft bewirkt. Die Zerreißspannung wurde beim N. ischiadicus etwas niedriger als beim N. femoralis befunden, doch lag der in Kilopond ausgedrückte Wert der Zerrei-Zug-Kraft etwas höher. Letzteres ist damit zu erklären, daß der N. ischiadicus ein dickerer Nervenstamm (größeren Querschnitts) ist und deshalb wahrscheinlich zur Erreichung einer totalen Kontinuitätsunterbrechung eine größere Krafteinwirkung benötigt wird. Untersucht man die Zugkraft in der Funktion des Querschnittes, so werden bereits praktisch Werte gleicher Größenordnung erhalten.

Die regional und geschlechtsbedingten Unterschiede in der Zerreißfestigkeit der Nervenstämme der unteren Extremität wurden verglichen. Es wurden systematisch immer — insgesamt in 34 Fällen — die rechtsseitigen Nervenstämme untersucht. In 7 Fällen wurden parallel aus den gleichen Leichen auch linksseitig Untersuchungen angestellt, um die zwischen den beiden Körperseiten sich aus der physiologischen Asymmetrie ergebenden Unterschiede vergleichen zu können. Bei der unteren Extremität wurden wesentliche Dehnungsunterschiede nicht gefunden, während die Zerreispannungswerte an der linken Körperseite etwas höher lagen.

Betreffs des N. femoralis wurden nach Geschlechtern weder in der Dehnung noch in der Zugkraft oder im Nervenstammquerschnitt wesentliche Abweichungen gefunden. Die Zerreißspannung dagegen war bei Männern etwas größer ( $135,3 \pm 53,77$  kp/cm<sup>2</sup>), während bei den Frauen der Durchschnitt einen größeren Streuungsbereich aufwies ( $121,1 \pm 57,67$  kp/cm<sup>2</sup>).

Im Falle des N. ischiadicus dagegen fanden wir wegen des stärkeren Nervenquerschnittes bei Männern die Zerreißspannung bei Frauen größer ( $120,1 \pm 47,56$  kp/cm<sup>2</sup>); bei Männern betrug sie  $103,3 \pm 31,31$  kp/cm<sup>2</sup>. Bei Frauen erwies sich die Zerreißfestigkeit des N. femoralis und des N. ischiadicus praktisch als gleich ( $121,1 \pm 57,67$  kp/cm<sup>2</sup> bzw.  $120,1 \pm 47,56$  kp/cm<sup>2</sup>).

Läßt man die Gruppierung nach Geschlechtern außer acht, so ergaben sich bezüglich der 34 Fälle die folgenden Durchschnittswerte:

Im Falle des *N. femoralis*: spezifische Dehnung  $0,15 \pm 0,05$ , Zerreikraft  $19,21 \pm 7,76$  kp, Nervenquerschnitt  $0,156 \pm 0,049$  cm<sup>2</sup> und Zerreißspannung  $129,30 \pm 55,04$  kp/cm<sup>2</sup>.

Im Falle des *N. ischiadicus*: spezifische Dehnung  $0,15 \pm 0,04$ , Zerreikraft  $45,70 \pm 9,30$  kp, Nervenquerschnitt  $0,443 \pm 0,117$  cm<sup>2</sup>, Zerreißspannung  $110,26 \pm 39,09$  kp/cm<sup>2</sup>.

Die Resultate der Untersuchung der Zerreißfestigkeit der proximalen Nervenstämme der unteren Extremität haben wir in Abhängigkeit vom Lebensalter, von der Körperlänge und vom Körpergewicht untersucht. Im Falle des *N. ischiadicus* zeigte sich zwischen Zerreißspannung, Lebensalter und Körpergewicht eine signifikante Korrelation; im Falle des *N. femoralis* erwies sich die ähnliche Korrelation nicht als signifikant. Nachdem in unserem eigenen Material diese letzteren Zusammenhänge (an einer relativ geringen Zahl von Proben untersucht) keine gleichsinnigen sind, scheint eine Untersuchung an einem umfangreicheren Material erwünscht. Davon abgesehen liefern die vorliegenden Untersuchungen zahlenmäßige Daten bezüglich der Zerreißfestigkeit der Nervenstämme der unteren Extremität für das Ausmaß ihres Widerstandes gegenüber mechanischen Einwirkungen.

### Literatur

1. Craik, J. E.: The mechanics of human skin. *New Scientist* **31**, 88 (1966).
2. Ehler, E.: Torsionversuche an Knochenteilen der menschlichen oberen Extremität. *Anat. Anz.* **119**, 351—358 (1966).
3. Ehler, E.: Zur Ermittlung von Randfaserspannungen an Knochen der menschlichen oberen Extremität. *Gegenbaurs morph. Jb.* **109**, 614—632 (1966).
4. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Basch, A., Fazekas, E.: Die beeinflussende Rolle konstitutioneller Faktoren (Körpergewicht) auf die Zerreißfestigkeit der menschlichen Haut. *Zacchia* **42**, 502—511 (1967).
5. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Basch, A.: Dehnungsgrad der Haut verschiedener Körperpartien (prozentuelle Verlängerung) im Moment des Zerreißens. *Zacchia* **42**, 62—83 (1967).
6. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Basch, A.: ber die Reißfestigkeit der Haut verschiedener Körperregionen. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **64**, 62—92 (1968).
7. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Basch, A.: ber den Einfluß konstitutioneller Faktoren (Körperlänge) auf die Zerreißfestigkeit der menschlichen Haut. *Gegenbaurs morph. Jb.* **113**, 295—302 (1969).
8. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Basch, A.: ber den Einfluß konstitutioneller Faktoren auf die Zerreißfestigkeit der menschlichen Haut. *Morph. s Ig. Orv. Szle.* (Im Druck.)
9. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Jobba, Gy., Mszros, E.: Die Druckfestigkeit der menschlichen Leber mit besonderer Hinsicht auf die Verkehrsunfälle. *Z. Rechtsmedizin* **68**, 207—224 (1971).
10. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Jobba, Gy., Mszros, E.: Experimentelle Untersuchungen über die Druckfestigkeit der menschlichen Niere. *Zacchia* **46**, 294—301 (1971).
11. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Jobba, Gy., Mszros, E.: Beiträge zur Druckfestigkeit der menschlichen Milz bei stumpfen Krafteinwirkungen. *Arch. Kriminol.* (Im Druck.)
12. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Bajnczky, I., Jobba, Gy., Szendrnyi, J.: Mechanische Untersuchung der Kraft durchbohrender Einstiche an der menschlichen Haut und verschiedenen Kleidungsschichten. *Z. Rechtsmedizin* (Im Druck.)
13. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Jobba, Gy., Bajnczky, I., Szendrnyi, J.: Untersuchung mechanischer Faktoren bei experimentellen Stichverletzungen. *Z. Rechtsmedizin* (Im Druck.)
14. Fazekas, I. Gy., Ksa, F., Jobba, Gy., Szendrnyi, J., Bajnczky, I.: Die Zerreißfestigkeit der Nervenstämme der oberen Extremitäten. *Z. Rechtsmedizin* (Im Druck.)
15. Fischer, H., Spann, W.: *Pathologie des Trauma*. München: Bergmann 1967.

16. Gibson, T., Kenedi, R. M., Craik, J. E.: The mobile micro-architecture of dermal collagen. *Brit. J. Surg.* **52**, 764 (1965).
17. Gordon, I., Turner, R., Price, T. W.: *Medical Jurisprudence*, S. 681. Edinburgh-London: Livingstone 1953.
18. Göcke, C.: Über das Spannungs-Dehnungs-Diagramm des spongiösen Knochens nach Stoßbelastung. *Dtsch. med. Wschr.* **52**, 108—109 (1928).
19. Haack, K. J.: Über subkutane Verletzungen des N. peroneus. *Msschr. Unfallheilk.* **60**, 179—180 (1957).
20. Hirsch, C., Evans, F. G.: Studies on some physical properties of infant compact bone. *Acta orthop. scand.* **35**, 300—313 (1965).
21. Jansen, L. H., Rottier, P. B.: Elasticity of human skin related to age. *Dermatologica (Basel)* **115**, 106—111 (1957).
22. Jansen, L. H., Rottier, P. B.: Some mechanical properties of human abdominal skin measured on excised strips. *Dermatologica (Basel)* **117**, 65 (1958).
23. Jansen, L. H., Rottier, P. B.: Comparison of the mechanical properties of human abdominal skin excised from below and from above the umbilic. *Dermatologica (Basel)* **117**, 252 (1958).
24. Jochims, J.: Untersuchungen des mechanischen Verhaltens der Hautgewebe (Cutis und Subcutis) mit einer neuen Methode. *Z. Kinderheilk.* **57**, 516 (1935).
25. Jochims, J.: Grundzüge einer einfachen klinischen Prüfung der Hautdehnung. *Arch. Kinderheilk.* **133**, 97 (1947).
26. Jochims, J.: Elastometrie an Kindern bei wechselnder Hautdehnung. *Arch. Kinderheilk.* **135**, 228 (1948).
27. Jochims, J., Hansen, G.: Über Veränderungen der Hautfalte bei der Exsikkation des Säuglings. *Z. Kinderheilk.* **57**, 85 (1935).
28. Kenedi, R. M., Gibson, T.: Étude expérimentale des tensions de la peau dans le corps humain-système de mesure des forces et résultats. *Rev. franç. Méc.* **4**, 121 (1962).
29. Kirk, E., Kvorning, S. A.: Quantitative measurements of the elastic properties of the skin and subcutaneous tissue in young and old individuals. *J. Geront.* **4**, 273 (1949).
30. Kricke, W.: Die Erkrankungen der peripheren Nerven. In: Kaufmann, *Lehrbuch der speziellen pathologischen Anatomie*, III. Band, 2. Teil, S. 788. Berlin: de Gruyter 1961.
31. Linscheid, R. L.: Injuries to radial nerve at wrist. *Arch. Surg.* **91**, 942—946 (1965).
32. Messerer, O.: Über Elastizität und Festigkeit des menschlichen Knochens. Stuttgart: Cotta 1880.
33. Ökrös, S.: Gerichtlich-medizinische Bedeutung des elastischen Fasersystems der Haut. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **29**, 485—500 (1938).
34. Padovani, P.: Etiologie des lésions nerveuses traumatiques. *Rev. Prat. (Paris)* **15**, 393—397 (1965).
35. Rollhäuser, H.: Konstitutions- und Altersunterschiede in der Festigkeit kollagener Fibrillen. *Gegenbaurs morph. Jb.* **90**, 157 (1951).
36. Rollhäuser, H.: Die Festigkeit menschlicher Sehnen nach Quellung und Trocknung in Abhängigkeit vom Lebensalter. *Gegenbaurs morph. Jb.* **90**, 180 (1951).
37. Rollhäuser, H.: Die Zugfestigkeit der menschlichen Haut. *Gegenbaurs morph. Jb.* **90**, 249 (1951).
38. Rollhäuser, H.: Untersuchungen über den submikroskopischen Bau kollagener Fasern. *Gegenbaurs morph. Jb.* **92**, 1 (1952).
39. Tabbara, W., Proteau, J.: Le syndrome extenso-progressif. Considerations chimiques et médico-légales. *Ann. Méd. lég.* **43**, 303—318 (1963).
40. Verzar, F.: Wege der physiologischen Altersforschung. Schriftenreihe der Med. Pharmazeut. Studiengesellschaft e.V. Nr. 1. Frankfurt: Umschauverlag 1962.
41. Verzar, F.: Liberation of mechanical tension by heating of collagen fibres. *Experientia (Basel)* **18**, 310 (1962).
42. Vinz, H.: Die Änderung der Materialeigenschaften und der stofflichen Zusammensetzung des kompakten Knochengewebes im Laufe der Altersentwicklung. *Nova Acta leopold. Neue Folge Bd. 35*. Leipzig: Barth 1970.
43. Watson-Jones, R.: *Fractures and Joint Injuries*. Fourth Edition, S. 126. Edinburgh-London: Livingstone 1952.

44. Weinig, E., Zink, P.: ber die mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **60**, 1—5 (1967).
45. Wenzel, H. G.: Untersuchungen über die Dehnbarkeit und Zerreibarkeit der Haut. Zbl. allg. Path. path. Anat. **85**, 117 (1949).
46. Wertheim, G.: Memoire sur l'élasticité et la cohesion des principaux tissus du corps humain. Ann. Chem. Phys. (Paris) **21**, 385—398 (1847).
47. Wöhlisch, E., Du Mesnil, R.: Die Thermodynamik der Wrmeumwandlung des Kollagens. Ein Beitrag zum Problem der thermischen Sehnenverkrzung. Z. Biol. **85**, 406 (1926).
48. Wöhlisch, E.: Die Temperaturabhängigkeit der Dimensionen des elastischen Gewebes. Z. Biol. **85**, 379 (1926).
49. Wöhlisch, E., Du Mesnil, R., Gerschler, H.: Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften tierischer Gewebe I. Z. Biol. **85**, 325 (1926).
50. Wöhlisch, E., Du Mesnil, R., Gerschler, H.: Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften tierischer Gewebe II. Z. Biol. **85**, 567 (1927).
51. Zink, P.: Methoden zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **56**, 349 (1965).

Professor Dr. I. Gy. Fazekas  
Kossuth Lajos Sugarut 40  
Szeged, Ungarn