

Zur supravitalen elektrischen Erregbarkeit der Muskulatur*

C. Henßge¹, P. P. Lunkenheimer², O. Salomon¹ und B. Madea¹

¹ Institut für Rechtsmedizin, von-Esmarch-Straße 86, D-4400 Münster, Bundesrepublik Deutschland

² Chirurgische Klinik und Poliklinik, Jungeblodtplatz 1, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, D-4400 Münster, Bundesrepublik Deutschland

The Electric Excitability of Muscles

Summary. A new method of postmortem electrical stimulation of muscles, measuring the force of the reaction against time, is presented. Preliminary investigations have yielded the following results:

- The maximum force of reaction in response to a definitive stimulation, measured by a sensitive force transducer, decreases in proportion to the post mortem interval.
- Using this method, the mechanical reactions of muscles by electrical stimulation can be demonstrated over a much longer postmortem period as these movements are visible. The duration of postmortem reaction of *different* muscles seems to be much more uniform than was previously assumed. Occasionally, reactions of the M. orbicularis oculi can *be seen* for the longest time.
- The basal muscular tonus changes relative to time.
- The time course of a single force reaction also changes relative to the postmortal interval: the reaction becomes slower.
- It has been theoretically established that measurement of influencing factors such as temperature and pH in the tested muscle will enable the time of death to be more precisely estimated.

Key words: Postmortem electric excitability – Estimation of the time of death, muscular force measurement

Zusammenfassung. Eine neuartige Methode der postmortalen Elektrostimulation der Muskulatur mit Messung des Kraft-Zeit-Verlaufes der Reaktion wird vorgestellt. Erste orientierende Untersuchungen ergaben:

- Auf definierte elektrische Reizung nimmt das mit einem empfindlichen Kraftaufnehmer gemessene Kraftmaximum der muskulären Reaktion mit fortschreitender Todeszeit ab.

Sonderdruckanfragen an: Dr. C. Henßge (Adresse siehe oben)

* Herrn Prof. Dr. H. Leithoff zum 65. Geburtstag gewidmet

- Mit dieser Methodik sind mechanische Reaktionen der Muskulatur auf elektrische Reizung wesentlich länger postmortal nachweisbar als Bewegungen sichtbar sind. Die Dauer der postmortalen Reaktivität *verschiedener* Muskeln erweist sich als wesentlich homogener als bisher aufgrund sichtbarer Bewegungen angenommen wurde. Am *M. orbicularis oculi* sind Reaktionen lediglich am längsten *sichtbar*.
- Der muskuläre Grundtonus verändert sich mit fortschreitender Todeszeit.
- Der Kraft-Zeit-Verlauf (also die Kurvenform) der einzelnen Reaktion verändert sich ebenfalls mit fortschreitender Todeszeit: die Reaktion wird zunehmend träger.
- Es wird theoretisch abgeleitet, daß durch ergänzende Messungen der Einflußfaktoren Temperatur und pH im geprüften Muskel die resultierende Todeszeitbestimmung präzisiert werden kann.

Schlüsselwörter: Supravitale elektrische Erregbarkeit – Todeszeitbestimmung, Kraftmessung

Postmortale elektrische und mechanische Erregbarkeit [11] und ihr — bezogen auf den Gesamtmuskel — fließender Übergang [13, 14] in die Totenstarre [4–6] sind Phänomene, welche zur forensischen Todeszeitbestimmung genutzt werden. Für die rechtsmedizinische Praxis sind zwei Kriterien entscheidend: Praktikabilität der Untersuchungsmethode unter Tatortbedingungen sowie Präzision und Zuverlässigkeit der daraus abgeleiteten Todeszeitbestimmung.

Unter Präzision wird verstanden: die „Breite“ der zufälligen Abweichungen (interner Bias) zwischen rechnerisch ermittelten und realen Todeszeiten, ausgedrückt durch geeignete statistische Maßzahlen (z. B. Standardabweichung, 95%-Toleranzgrenzen, Variationsbreite). Danach kann das Ergebnis einer Todeszeitbestimmung grundsätzlich kein *Zeitpunkt*, sondern nur ein mehr oder weniger breiter *Zeitbereich* sein.

Unter Zuverlässigkeit wird verstanden: der durch Messung ermittelte Zeitbereich des Todeseintritts trifft am überprüften Einzelfall auch wirklich zu. Dieser darf bezüglich der Voraussetzungen nicht *systematisch* (externer Bias) von den Fällen des Kollektivs abweichen, dessen Ergebnisse zugrundegelegt werden.

Betrachtet man die Ergebnisse bisheriger Stichprobenuntersuchungen, so bietet sich folgendes Bild:

Postmortale elektrische Erregbarkeit (nicht ausreichend definierte Reizmethode) des *M. orbicularis oculi* (anhand sichtbarer Bewegungen): die Präzision der Methode nimmt mit steigender Todeszeit drastisch ab [9, kritische Diskussion bei 7].

Postmortale elektrische Erregbarkeit (definierte Reizmethode) verschiedener Skelettmuskeln (anhand sichtbarer Bewegungen): 95%-Toleranzgrenzen von etwa $\pm 2,5$ h für die ersten etwa 6 bis 8 h post mortem [8, kritische Diskussion bei 7].

Totenstarre: die Präzision ist außerordentlich gering [2]. Gegenstand unserer Bemühungen ist, dem Ziel einer präziseren Todeszeitbestimmung durch Messung der supravitalen skelettmuskulären Reaktionen näher zu kommen.

Theoretische Ansätze

Als Ursachen für die große Variabilität werden angesehen [7]:

1. Die Methoden zur Untersuchung der supravitalen elektrischen Erregbarkeit weisen noch Mängel auf, die ihre exakte Quantifizierung z. T. erheblich einschränken.

Bei allen bisher vorliegenden Untersuchungen ist die Erfassung der Reaktionen auf *sichtbare* Bewegungen und ihre verbale Beschreibung beschränkt.

Die zur elektrischen Reizung benutzten Methoden sind, mit einer Ausnahme [8], nicht hinreichend definiert.

2. Die Quantifizierung des Ausbildungsgrades der Leichenerscheinung trägt zur Erhöhung der Präzision der Todeszeitbestimmung in gewissem Umfang bei. Von entscheidender Bedeutung ist jedoch offenbar die quantitative Berücksichtigung wesentlicher *Einflußfaktoren* auf den zeitlichen Ablauf dieser Leichenveränderungen:

Der Einflußfaktor Temperatur, welche die Geschwindigkeit des postmortalen Stoffwechsels wesentlich beeinflusst.

Einflußfaktoren, welche im individuellen Ausgangszustand bei Todeseintritt begründet liegen und die „Kapazität“ für den betrachteten Leichenprozeß bestimmen.

Hier ist auf eine tierexperimentelle Arbeit von Bate-Smith und Bendall [1] hinzuweisen: „One of the most difficult features of rigor mortis to explain is the great variation between one animal and another in the interval between death and the first signs of stiffening in the muscles.“

- Gut ernährte Kaninchen mit großen Glykogenreserven haben eine lange „delay period“ (Latenzzeit) bis zum Eintritt der ersten Starrezeichen.
- Unterernährte mit erniedrigten Glykogenreserven haben eine kurze „delay period“.
- Erschöpfte Tiere mit geringen oder fehlenden Glykogenreserven haben eine sehr kurze oder keine „delay period“.

Die postmortale Verstoffwechselung des *lokalen* Glykogens im *geprüften* Muskel zu Milchsäure ist ein offenbar gravierender Einflußfaktor für den Zeit-

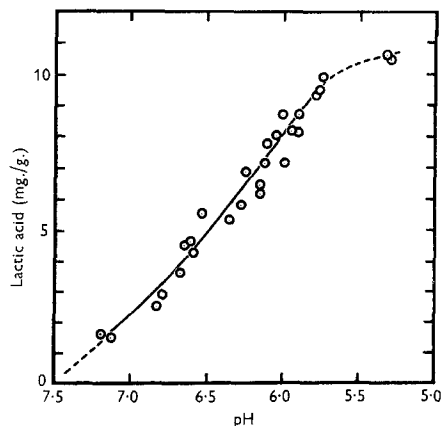


Abb. 1. Zusammenhang zwischen pH und Milchsäurekonzentration der Muskulatur. (Aus Bate-Smith und Bendall 1949)

raum bis zum Eintritt der ersten Starrezeichen. Über eine Messung des intramuskulären pH nach Sistieren der postmortalen Glykose („ultimate“ pH) bietet sich eine Möglichkeit, diesen Einflußfaktor zu erfassen (Abb. 1 und 2).

Zukünftige Strategien sollten außerdem berücksichtigen:

Im Interesse der Vergleichbarkeit von Ergebnissen verschiedener Arbeitsgruppen sollte eine *Standardisierung* der Methoden angestrebt werden.

Für die Anwendung unter Tatortbedingungen wesentlich sind Praktikabilität von Meßtechnik, Meßdauer und Auswertungsaufwand.

Hiervon ausgehend sollte eine einfache Erfassung der miteinander verknüpften Phänomene (elektrische Erregbarkeit, Ausbildung der Starre) durch *einen* gemeinsamen Untersuchungsvorgang angestrebt werden.

Praktische Lösung

Praktikable mobile Methodik zur Quantifizierung der elektrischen Erregbarkeit

Der Kraft-Zeit-Verlauf der muskulären Reaktion auf definierte elektrische Reize kann mit einem Kraftaufnehmer auf der Basis von Halbleiterdehnungs-

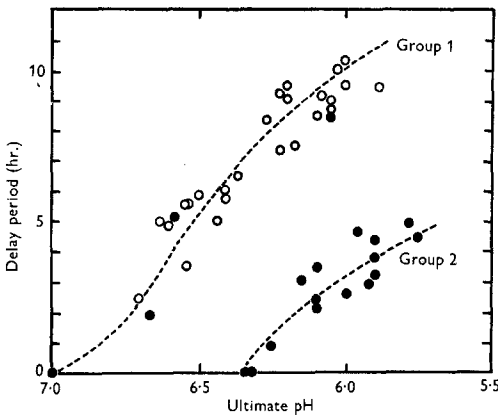


Abb. 2. Zusammenhang zwischen muskulärem pH 2 bis 10h nach vollständiger Starreausbildung („ultimate pH“) und Latenzzeit bis zum Auftreten der ersten Starrezeichen („delay period“). (Aus Bate-Smith und Bendall 1949). Gruppe 1: pH innerhalb von 5 min nach Todeseintritt: 7,00; Gruppe 2: pH innerhalb von 5 min nach Todeseintritt: 6,50. Punkte: Unbehandelte Tiere, heftiges Zappeln bei der Tötung (Dekapitation) = Ermüdung vor Todeseintritt. Kreise: Myanesin-behandelte Tiere (muskuläre Relaxation 1h vor Tötung)

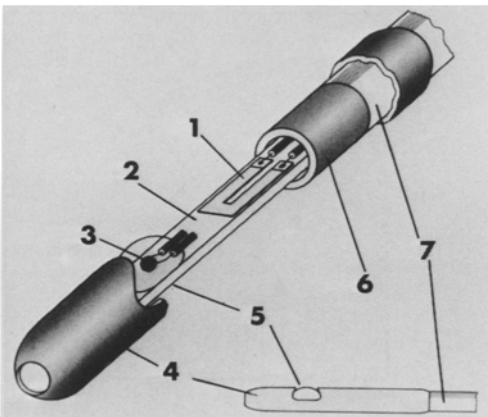


Abb. 3. Schema des Kraftaufnehmers. (Aus Lunkenheimer et al. 1982). 1 = Dehnungsmeßstreifen; 2 = Biegebalken; 3 = Thermistor; 4 = Äußere Hülle; 5 = seitliches Fenster; 6 = Balkenhalterung; 7 = Polyethylen-Katheter

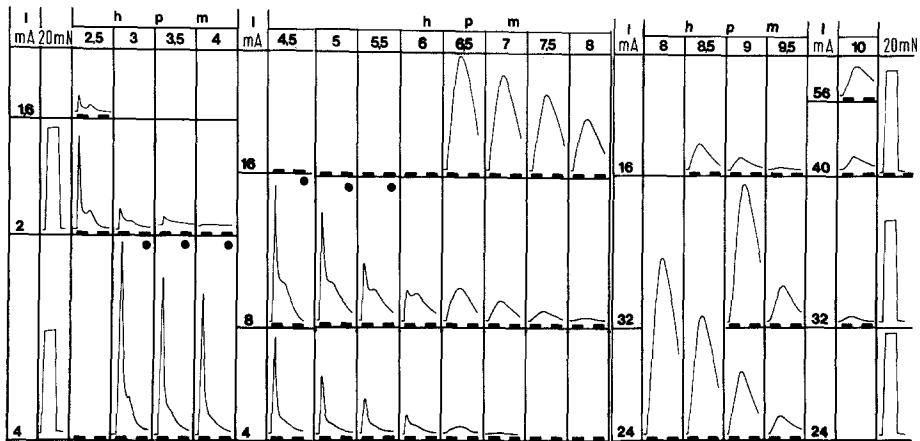


Abb. 4. Kraft-Zeit-Verlauf der einzelnen muskulären Reaktionen auf Rechteckimpulse von 1s Dauer und bestimmter Stromstärke (mA) als Funktion der Todeszeit (Übersicht). I (mA): Reizstromstärke (1,6 bis 56 mA); 20 mN: Eichzacke für eine Kraft von 20 mN; kurze Balken: zeitliche Einwirkung des Rechteckimpulses von 1s Dauer angegebener Stromstärke. Punkte: Eine Bewegung des oder am V. Finger war sichtbar

meßstreifen mühelos objektiviert werden. Wir verwendeten für die ersten orientierenden Untersuchungen einen von Lunkenheimer für das Myokard entwickelten Kraftaufnehmer. Er besteht aus einer Kanüle, in deren Wand sich spitzennah ein „Fenster“ befindet. Dem Fenster liegt innen ein Biegebalken an. Kontrahieren am Fenster der Kanüle anliegende Muskelfasern, wird die entwickelte Kraft über den Biegebalken auf Dehnungsmeßstreifen übertragen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Weiter ist in der Kanüle ein Thermistor zur Temperaturmessung in der Muskulatur angebracht (Abb. 3). Konstruktive Details derartiger Kraftaufnehmer finden sich ausführlich bei Lunkenheimer et al. [10]

Die ersten orientierenden Untersuchungen wurden an der Hypothenargruppe menschlicher Leichen durchgeführt. Gereizt wurde ausschließlich mit Rechteckimpulsen von 1 s Dauer. Variiert wurde zunächst nur die Stromstärke.

Die registrierten Kurven zeigen folgende todeszeitabhängigen Veränderungen:

1) Beziehungen zwischen Reizstromstärke und Maximum der entwickelten Kraft (Abb. 4 bis 6).

Auf Reiz gleicher Stromstärke nimmt das Kraftmaximum der Reaktion mit zunehmender Todeszeit ab. Dabei zeigte sich, daß sichtbare Bewegungen nur wenige Stunden post mortem zu erkennen waren (bei der in Abb. 4 und 5 untersuchten Leiche 5,5 h post mortem), während mit Hilfe des Kraftaufnehmers wesentlich länger deutliche mechanische Reaktionen (im Falle der Abb. 3 und 4 bis 12 h post mortem) nachweisbar waren. Lediglich am M. orbicularis oculi deckten sich die Kraftregistrierungen mit sichtbaren Bewegungen der Augenlider. Mit den letzten sichtbaren und registrierbaren Reaktionen des M. orbicularis oculi wurden auch an den anderen geprüften Muskeln (Hypothenar-

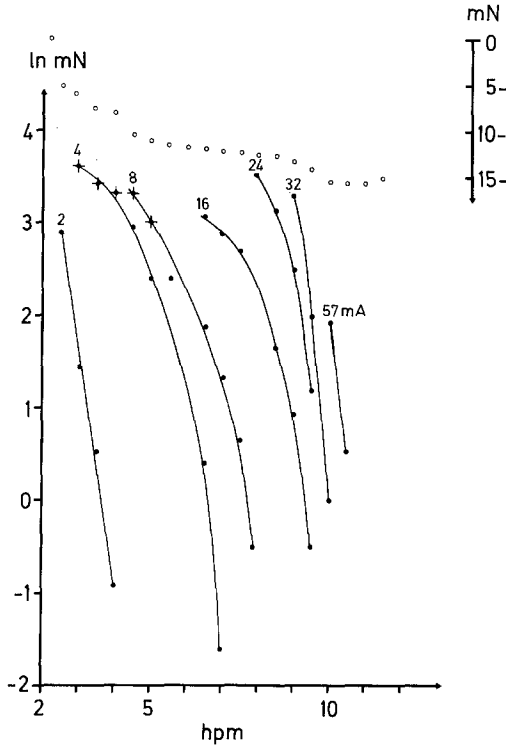


Abb. 5. Abhängigkeit des Kraftmaximums einer Reaktion auf 1-Sekunden-Rechteckimpulse bestimmter Stromstärke und der Kraft im reizfreien Intervall (muskulärer Grundtonus) von der Todeszeit. Abszisse: Todeszeit in Stunden post mortem (hpm). Ordinate: Logarithmus naturalis des Scheitelpunktes der muskulären Kraft (Kraftmaximum in mN) einer Reaktion auf 1-Sekunden-Rechteckimpulse bestimmter Stromstärke (mA). Punkte: Reaktion ohne sichtbare Bewegung. Punkte mit Kreuz: Sichtbare Bewegung. Ordinate rechts: Muskuläre Kraftänderung im reizfreien Intervall („Grundtonus“). Dazu gehörig: Kreise

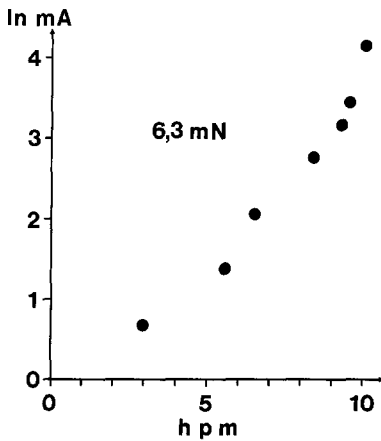


Abb. 6. Abhängigkeit der für ein Kraftmaximum von 6,3 mN erforderlichen Reizstromstärke von der Todeszeit. Abszisse: Todeszeit in Stunden post mortem (hpm). Ordinate: Logarithmus naturalis der Stromstärke (mA)

gruppe, M. triceps surae) noch träge (s. u.) mechanische Reaktionen mit kleiner Kraftamplitude registriert.

Die Zunahme des Kraftmaximums der mechanischen Reaktion auf eine bestimmte Erhöhung der Reizstromstärke ist todeszeitabhängig.

2) Die registrierbare Kraft in den reizfreien Intervallen — sie entspricht dem muskulären Grundtonus — nahm bis zum Ende der Untersuchungen (zwischen 12 und 14 h post mortem) ständig ab (Abb. 5, rechte Ordinate, zugehörige Kreise).

Abb. 7. Kraft-Zeit-Verlauf einzelner muskulärer Reaktionen auf überschwellige Reizung in den ersten Stunden post mortem. Horizontal: Zeit. Schwarze Balken: Zeitliche Einwirkung des Rechteckimpulses. Vertikal: Kraft

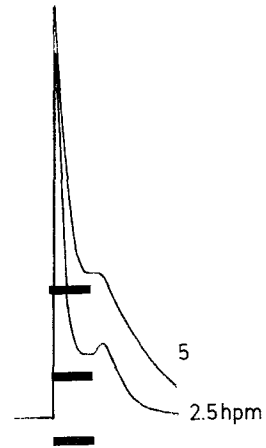


Abb. 8. Die zwei Grundtypen des Kraft-Zeit-Verlaufes der einzelnen muskulären Reaktionen auf 1-Sekunden-Rechteckimpulse überschwelliger Stromstärke. Die Veränderung von einem zum anderen Typ der Kurvenform trat innerhalb von weniger als 30 min ein (zwischen 6 und 6,5h post mortem). Horizontal: Zeit. Vertikal: Kraft. Links: Kurvenform bis 6h post mortem: zweigipfelige spike-artige Reaktion entsprechend Schließungs- und Öffnungsreaktion (vgl. Abb. 7). Rechts: Kurvenformen ab 6,5h post mortem: Trägere Reaktion: Das Kraftmaximum wird erst nach dem Ende des Rechteckimpulses erreicht. Die Stromöffnungsreaktion fehlt

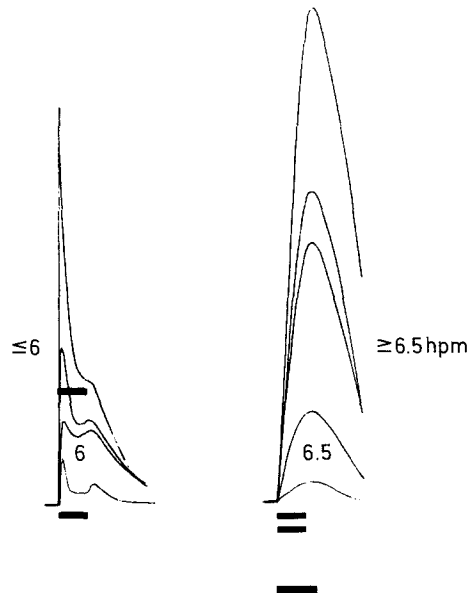
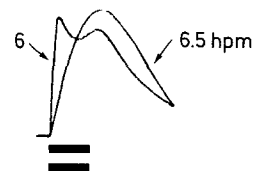


Abb. 9. Die zwei Grundtypen des Kraft-Zeit-Verlaufes der einzelnen Reaktionen auf 1-Sekunden-Rechteckimpulse überschwelliger Stromstärke. Ergänzung zu Abb. 8. Letzte registrierte Kurve vor und erste nach dem Umschlagen vom einen in den anderen Typ der Kurvenform bei vergleichbaren Kraftmaxima



3) Kraft-Zeit-Verlauf (Kurvenform) der einzelnen Reaktion (Abb. 7 bis 10).

Die registrierten Kraft-Zeit-Verläufe der einzelnen muskulären Reaktionen auf elektrische Reizung zeigten in den ersten Stunden post mortem eine schnelle Anspannung und eine schnelle Erschlaffung. Die Zweigipfeligkeit der Reaktionen auf Reizimpulse von 1s Dauer entspricht einer Schließungs- und Öffnungszuckung (Abb. 7).

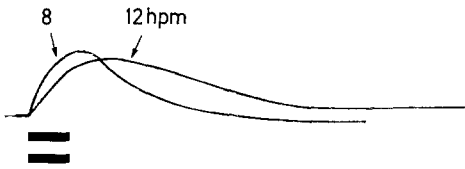


Abb. 10. Kraft-Zeit-Verlauf einzelner muskulärer Reaktionen auf überschwellige Reizung nach dem Umschlagen in die trägere Kurvenform: weitere Abnahme der Steilheit von Anspannung und Erschlaffung. Vgl. Abb. 7

Aufgrund einer relativ geringen Abnahme der Steilheit von Anspannung und Erschlaffung in den ersten Stunden fällt die Öffnungsreaktion zunehmend in den abfallenden Schenkel der Schließungsreaktion. Das hat zur Folge, daß sich die Öffnungsreaktion zu höheren Kraftwerten hin verschiebt (Abb. 7).

Ziemlich schlagartig, binnen weniger als einer halben Stunde, nimmt die Schnelligkeit von Anspannung und Erschlaffung drastisch ab. Der Anspannungsgipfel wird erst nach dem Ende des 1-Sekunden-Reizimpulses erreicht. Eine Öffnungsreaktion ist dann nicht mehr zu erkennen (Abb. 8 bis 10).

Jenseits der schlagartigen Veränderung der Kurvenform folgt eine weitere relativ geringe Abnahme der Steilheit mit fortschreitender Todeszeit (Abb. 10).

Messung von pH und Temperatur des geprüften Muskels

Intramuskuläre Temperatur- und pH-Messungen wurden bei den vorliegenden methodisch-orientierenden Untersuchungen noch nicht durchgeführt. Sie sollten methodisch unproblematisch sein. Erwogen wird die Integration eines pH-empfindlichen Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET), [3, 12] in den Kraftaufnehmer, so daß mit einem Einstich die Sensoren für Kraft-Zeit-Verlauf, Temperatur und pH intramuskulär appliziert wären.

Diskussion

Die Anwendung des Kraftaufnehmers zur Registrierung der mechanischen Reaktion auf elektrische Stimulation von Leichenmuskeln schließt eine bestehende methodische Lücke zur objektiven quantitativen Erfassung der supravitalen elektrischen Erregbarkeit der Muskulatur. Die ersten methodisch-orientierenden Untersuchungen haben ergeben, daß durch die Registrierung des Kraft-Zeit-Verlaufs der einzelnen Reaktionen mehr Informationen über den Grad der Reaktivität zu gewinnen sind als mit der einfachen Beobachtung und verbalen Beschreibung sichtbarer Bewegungen nach Ausdehnung und Intensität [9]. Die Ergebnisse zeigen auch, daß minimale sichtbare Bewegungen als Kriterium zur Bestimmung von Reizschwellen [8] ungeeignet sind, weil sie in keiner Weise die Grenze zwischen Reaktion und Nicht-Reaktion darstellen. Das wird besonders deutlich, wenn man verschiedene Muskeln betrachtet: Am M. orbicularis oculi zeigen minimale sichtbare Bewegungen tatsächlich die minimale Reaktion an (dünner Muskel, oberflächliche Lage), während an der Hypothenargruppe und am M. triceps surae Nichtbewegung keineswegs Nicht-Reaktion bedeutet. Die beschriebenen unterschiedlichen galvanischen Reizschwellen verschiedener Muskeln [8] sind danach offenbar überwiegend auf die Unterschiede in der Erkennbarkeit minimaler sichtbarer Bewegungen und

nicht auf tatsächliche Unterschiede der Reaktivität zurückzuführen: an Muskeln mit kleinem Durchmesser und oberflächlicher Lage sind minimale Reaktionen am ehesten sichtbar.

Neben der todeszeitabhängigen Abnahme der Intensität einer Reaktion (Kraftmaximum) auf einen bestimmten elektrischen Reiz lassen die registrierten Kraft-Zeit-Verläufe auch systematische Veränderungen der Kurvenform erkennen: die muskulären Reaktionen werden zunehmend träger. Am *M. orbicularis oculi* ist diese Veränderung der „Kontraktionsgeschwindigkeit“ sichtbar und auch beschrieben worden [9]. Mit Hilfe der Registrierung von Kraft-Zeit-Verläufen können diese mit zunehmender Todeszeit nichtlinearen Veränderungen der Kurvenform an beliebigen Muskeln meßbar gemacht werden. (Als Analyseverfahren der Kurvenform bietet sich die Fourier-Analyse an).

Als Erklärung für die zunehmende Trägheit der Reaktionen sehen wir eine Zunahme der inneren Widerstände eines Muskels: der mit fortschreitender Todeszeit abnehmende Anteil noch reaktiver Fasern eines Muskels muß gegen den zunehmenden Anteil starrer Fasern [13, 14] kontrahieren. Träfe diese Erklärung zu, so wäre die Kurvenform ein indirektes Maß für den Ausbildungsgrad der Totenstarre.

Es ist nicht zu erwarten, daß allein mit der objektiven Erfassung der Einheit Reiz-Reaktion das Problem der großen interindividuellen Variation des todeszeitlichen Ablaufs der elektrischen Erregbarkeit gelöst werden kann. Nach den Untersuchungsergebnissen von Bate-Smith und Bendall [1] ist vielmehr anzunehmen, daß der lokale Glykogenbestand der Muskulatur bei Todeseintritt ein entscheidender Einflußfaktor für die postmortale Zeitspanne ist, in der die elektrische Erregbarkeit eines Muskels erhalten bleibt. Wie die zitierten Untersuchungen ergeben haben, ist der lokale intramuskuläre pH-Wert nach Abschluß der postmortalen Glykolyse ein indirektes Maß für den Glykogenbestand, der bei Todeseintritt vorgelegen hat. Für die Geschwindigkeit des Ablaufs der postmortalen Glykolyse ist die lokale Temperatur der geprüften Muskulatur zwischen Todeseintritt und Zeitpunkt der postmortalen Prüfung als wesentlicher Einflußfaktor anzunehmen. Sie hängt zweifellos gesetzmäßig von der Lagerungstemperatur der Leiche ab. Eine Normierung der gemessenen elektrischen Erregbarkeit auf die Bezugsgrößen, intramuskulärer pH und Temperatur, müßte zu einer wesentlichen Präzisierung dieser Teilmethode zur Todeszeitbestimmung führen. Zur Verdeutlichung: Ein bestimmter gemessener Befund der elektrischen Erregbarkeit eines Muskels bedeutet bei Vorliegen eines hohen pH- und Temperaturwertes eine kurze Todeszeit. Das gleiche Meßergebnis bedeutet bei niedrigem pH- und Temperaturwert eine vergleichsweise längere Todeszeit. Durch Untersuchungsreihen mit Messung von Kraft-Zeit-Verlauf der Muskelreaktion auf definierte elektrische Reize, lokalem intramuskulären pH und Temperatur (intramuskulär und Umgebung) müssen die Daten einer derartigen Normierung auf die genannten Bezugsgrößen erarbeitet werden.

Literatur

1. Bate-Smith EC, Bendall JR (1949) Factors determining the time course of rigor mortis. *J Physiol* 110:47-65

2. Beier G, Liebhardt M, Schuck M, Spann W (1977) Totenstarremessung an menschlichen Skelettmuskeln in situ. *Z Rechtsmed* 79:277–283
3. Bergfeld P, van der Schoot (1983) The pH-ISFET: Development and application of a new pH-transducer. Abteilung für Bioinformatik Techn Hogeschool Twente, Enschede. Poster-Demonstration im Physiologischen Institut der Universität Münster am 30. 11. 1983
4. Forster B (1963) The plastic and elastic deformation of skeletal muscle in rigor mortis. *J Forensic Med* 10:91–110
5. Forster B (1963) The contractil deformation of skeletal muscle in rigor mortis. *J Forensic Med* 10:133–147
6. Forster B, Ropohl D, Raule P (1977) Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FFR-Index. *Z Rechtsmed* 80:51–54
7. Henßge C (1982) Methoden zur Bestimmung der Todeszeit – Leichenabkühlung und Todeszeitbestimmung. Diss B Bereich Medizin Humboldt-Universität Berlin, pp 1–81
8. Joachim H, Feldman U (1980) Eine quantitative Methode der Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der galvanischen Reizschwelle. *Z Rechtsmed* 85:5–22
9. Klein A, Klein S (1978) Die Todeszeitbestimmung am menschlichen Auge. Diss B Med Akademie Dresden
10. Lunkenheimer PP, Lunkenheimer A, Stroh N, Köhler F, Welham K, Graham G, Kirk E, Sonnenblick E, Krölller J (1982) Vergleich klassischer und neuer Zugänge zum intramyokardialen Kraftverteilungsmuster. *Zentralbl Veterinärmed A* 29:557–601
11. Prokop O (1975) Supravitale Erscheinungen. In: Prokop O, Göhler W (Hrsg) *Forensische Medizin. Volk und Gesundheit*, Berlin, S 16–27
12. Schepel SJ, de Rooij NF, Koning G, Oeseburg B, Zijlstra WG (1984) In vivo experiments with a pH-ISFET electrode. *Med Biol Eng Comput* 22:6–11
13. Zink P (1970) Über das Verhalten des menschlichen Skelettmuskels bei Dehnung während des Verlaufs der Totenstarre. *Habilitationschrift Medizinische Fakultät Erlangen*
14. Zink P (1972) Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln. *Z Rechtsmed* 70:163–177

Eingegangen am 22. Juni 1984