

Eine quantitative Methode der Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der galvanischen Reizschwelle (Rheobase) am Skelettmuskel von Leichen

Hans Joachim und Uwe Feldmann

Institut für Rechtsmedizin und Institut für Biometrie der Medizinischen Hochschule Hannover, D-3000 Hannover 61, Bundesrepublik Deutschland

Quantimetric Investigations of the Time of Death by Estimating the Postmortem Threshold (Rheobase) of Human Skeletal Muscles to Electric Stimulus by Direct Current

Summary. We recently reported on an unusually high correlation between the post mortem interval and the postmortem (pm) increase of the muscular threshold to galvanic stimuli (Rheobase) in the skeletal muscle of the rat.

To find out whether a practicable method of estimating the time of death could be developed out of this, we investigated skeletal muscles of 11 individuals having died from various causes.

The muscles were stimulated electrically by square-impulses of 1 s length at 200 V, the strength ranging from 0.1 to 80 mA. The electrodes were applied to the skin.

A strong correlation ($r = 0.98$ on average) between the muscular threshold to electric stimuli and the time of pm investigation was also found in human muscles and can be described by the formula

$$Y(T)[\text{mA}] = A^* \text{Exp}(b \cdot T)$$

when A^* is the primary threshold (Rheobase) and T the time of pm interval.

Differentiation of this equation leads to a strongly linear regression curve by which finally the time of death can be expressed as

$$t^* = \frac{a_0 - a^*}{b}$$

The coefficients a_0 and b can be calculated by the linear regression of the pm Rheobase in a semi-logarithmic system of coordinates and a^* as $\ln A^*$ [mA] from the course of the regression curves— $a_0 = \ln A_0$ [mA] at the beginning of the investigation and b [1/min] = gradient of the regression.

The testing of the muscles flexor digiti V and flexor digitorum communis brevis, in particular, lead to the most exact results. By this method immediate results of hitherto unknown reliability can be achieved in estimating the time of death up to 15 h postmortem by statistical means of calculation. Changing temperatures, different causes of death, and other individual factors seem to be of no influence on the results so that collectives of known characteristics are not necessary for comparison.

Key words: Estimation of the time of death – Rheobase, estimation of the time of death

Zusammenfassung. An Skelettmuskeln von 11 nicht ausgewählten Leichen mit genau bekanntem Todeszeitpunkt wurde der Anstieg der galvanischen Reizschwelle (Rheobase) untersucht, um zu überprüfen, ob und wie lange nach dem Tode die von Joachim am Rattenmuskel gefundene sehr hohe Korrelation zwischen postmortalem (pm) Anstieg der Rheobase und Untersuchungszeit sich auch an der Leiche nachweisen läßt und als Methode der Todeszeitbestimmung praktikabel ist.

Gereizt wurde über Hautelektroden bei Spannungen um 200 V mit 1 s breiten Rechtecksimpulsen von 0,1 bis 80 mA Stärke.

Ebenso wie bei der Ratte ließ sich beim Menschen die Beziehung

$$Y(T) [\text{mA}] = A^* \text{Exp}(b \cdot T)$$

an 15 Muskelpaaren mit einer sehr hohen durchschnittlichen Korrelation $r = 0,98$ nachweisen.

Hierbei sind A^* die primäre pm Rheobase als kleinster Wert der Regressionskurve und T die Zeit post mortem. Durch Logarithmierung dieser Gleichung kann der Todeszeitpunkt t^* aus $\frac{a_0 - a^*}{b}$ berechnet werden, wobei die Koeffizienten a_0 und b durch die lineare Regression der Meßpunkte im halblogarithmischen Koordinatensystem berechnet und a^* als $\ln A^*$ aus dem Kurvenverlauf geschätzt werden kann; $a_0 = \ln A_0$ [mA] zum Zeitpunkt der ersten Messung.

Besonders gute Ergebnisse waren mit dieser Methode durch Untersuchung der M. flexor digiti V und M. flexor digitorum communis brevis zu erzielen.

Die Vorteile des Verfahrens liegen in der sofortigen Erstellung sehr genauer Daten auf der Grundlage statistischer Berechnung ohne die Notwendigkeit der Eichung der Methode anhand von Vergleichskontrollen und ohne Eingriff an der Leiche. Ferner sind die Umgebungstemperatur, die Todesart, die Dauer der Reizbarkeit und andere individuelle Faktoren im Gegensatz zu anderen Verfahren hier ohne Einfluß auf die Aussagegenauigkeit der Methode.

Der Beweiswert des Verfahrens als Methode der frühen Todeszeitbestimmung wird diskutiert.

Schlüsselwörter: Todeszeitbestimmung – Rheobase, Todeszeitbestimmung

Die postmortale (pm) elektrische Erregbarkeit des menschlichen Skelettmuskels wurde bereits um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert von Crève (1896),

Alexander von Humboldt (1797), Bichat (1912), Nysten (1811) und Devergie (1841) unter der Vorstellung, es handele sich hierbei um die letzte vitale Reaktion des Muskels, beschrieben.

Erst 1960 führten Prokop und Schüler an Leichen und wenig später Schmidt (1964) und Schüler im Tierexperiment systematische elektromechanische Untersuchungen mit dem Ziel durch, Verfahren der Todeszeitbestimmung zu entwickeln. Prokop (1966), Radam (1963), Popwassilew und Palm (1960) reizten den menschlichen Skelettmuskel mit niederfrequenten faradischen Strömen. Die Stärke der muskulären Reizantworten wurde subjektiv beurteilt, das Erlöschen der Reizbarkeit war diagnostisches Kriterium der Todeszeitschätzung. Bei einer maximalen Reizbarkeit von etwa 8 h mußte jedoch ein Streubereich von 7 h in Kauf genommen werden. Eine Verbesserung der Methode durch die technische Weiterentwicklung des von Radam angewandten elektronischen Reizgerätes konnte durch die stufenweise Regelbarkeit der Reizparameter (Krause et al. 1974) sowie durch die Untersuchung der optimalen Bedingungen für die pm faradische Reizbarkeit des Skelettmuskels erreicht werden (Waltz u. Mattig 1974). Praktische Erfahrungen mit dem neuen Gerät (D76) zeigten noch gut erkennbare Muskelkontraktionen bis zu 6 h pm (Krause et al. 1978).

Große Streuungen der Dauer der pm elektrischen Erregbarkeit finden sich bei einem Vergleich der Angaben anderer Autoren.

Nysten (1811) fand eine pm Erregbarkeit von 27 h, Taylor (1910) 20 h, Nagy (1968) bis zu 8 h pm bei galvanischer Reizung mit Spannungen bis zu 20000 V und Puppe (1908) selbst nach „starker elektrischer Reizung“ nur bis zu 3 h pm. Klein und Mitarbeiter (1972) konnten noch 13 h pm ($SD \pm 3,4$) eine Pupillenverengung durch faradische Reizung auslösen.

Die zitierten Arbeiten zeigen übereinstimmend eine erhebliche Streuung der pm Dauer der Reizbarkeit, unzureichende Differenzierung elektrophysiologischer Eigenschaften des absterbenden Muskels und eine Vernachlässigung des Einflusses von Umgebungstemperatur und Todesart auf das Untersuchungsergebnis.

Forster und Mitarbeiter begannen mit der Untersuchung einzelner elektrophysiologischer Charakteristika des absterbenden Rattenmuskels bei unterschiedlichen Temperaturen und Todesarten. Hierüber berichteten Forster und Duenning (1970), Forster und Eisenmenger (1971) und Joachim und Forster (1972). Die qualitativ unterschiedlichen und schwer deutbaren elektrophysiologischen Veränderungen der ausschließlich am absterbenden Rattenmuskel untersuchten Reizantworten schienen für eine Todeszeitbestimmung zunächst wenig geeignet zu sein.

1976 wurde von Joachim erstmals über eine Gesetzmäßigkeit des postmortalen Anstiegs der Reizschwelle (Rheobase) des quergestreiften Rattenmuskels nach galvanischer Reizung berichtet. Hierbei fand sich bei allen untersuchten Muskeln eine außerordentlich hohe Korrelation zwischen dem natürlichen Logarithmus der in mA gemessenen Reizschwellen und der Zeit post mortem. Die unterschiedlichen Todesarten, die Temperatur des Muskels, die Reizfrequenz und die Breite des Reizimpulses gingen in die Meßergebnisse mit ein, blieben jedoch ohne Einfluß auf die Güte der Zeit-Reizschwellen-Korrelation, sondern bestimmten lediglich den Regressionskoeffizienten, d. h. die Ge-

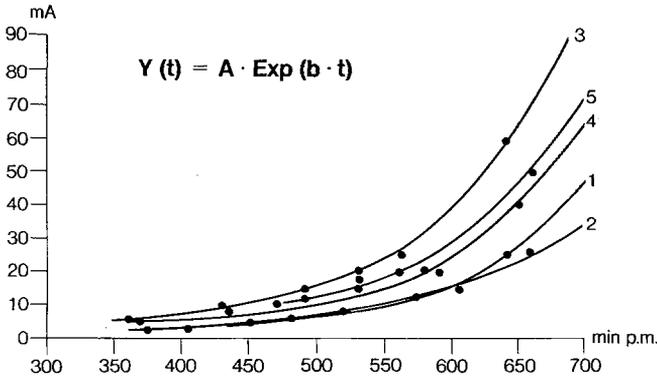


Abb. 1. Pm exponentieller Anstieg der galvanischen Reizschwelle (Rheobase) einiger Skelettmuskel bei dem Leichnam eines 75jährigen Mannes mit akutem Herzversagen (Fall 5). Pm Rheobasenwerte (mA) der Flexor digit. superficial. li (1), Flex. digiti V li (2), Flex. pollicis longus li (3), Fibularis longus li (4), Flex. digit. comm. breves (5, Fuß)

schwindigkeit der pm Muskeldegeneration. Mithin wurde die für die Todeszeitbestimmung wichtige Beziehung zwischen den Meßwerten und den Untersuchungszeiten nicht wie bei anderen bisher bekannten Methoden in unübersichtlicher Weise gestört.

Bei allen bisherigen Versuchen konnte vorwiegend im Tierexperiment und an einigen menschlichen Skelettmuskeln übereinstimmend festgestellt werden, daß die galvanische Reizschwelle (Rheobase) pm exponentiell anstieg (Abb. 1) und daß die Logarithmierung der Kurven zwischen der Reizschwelle und der Zeit post mortem eine lineare Beziehung ergab, deren Verwendung sich für die rechtsmedizinische Praxis der Todeszeitbestimmung geradezu aufdrängt. Eine derartige Methode scheint den Vorzug zu besitzen, daß durch Mehrfachreizung von zahlreichen Muskelpaaren an einer Leiche eine große Anzahl von Meßwerten zu erheben ist. Hierdurch wäre eine Bestimmung des Todeszeitpunktes mit statistischen Verfahren und somit über die Berechnung der Streuung eine genaue Vorstellung vom Beweiswert des Ergebnisses im Einzelfall möglich, ohne daß bekannte Vergleichskollektive erforderlich sind. Ferner sind herausfallende Meßergebnisse — Ausreißer — erkennbar und aus dem Rechenergebnis zu eliminieren (Abb. 1).

Bei den Rattenversuchen erwies sich der Skelettmuskel (musculus gastrocnemius) jedoch nur bis zu etwa 4 h pm reizbar, wobei Reizschwellen bis zu 80 mA bei einer Spannung von 200 V gemessen werden konnten. Bei höheren Stromstärken traten Verkochungen des Muskels an der Reizelektrode auf.

Die bisherigen Ergebnisse warfen folgende Fragen auf:

1. Läßt sich die bei Ratten gefundene Gesetzmäßigkeit auch am Skelettmuskel menschlicher Leichen mit der gleichen Regelmäßigkeit nachweisen?

2. Ist die menschliche Muskulatur postmortal ausreichend lange galvanisch reizbar, so daß mit dieser Methode auch am Tatort noch mehrere Stunden nach dem Tode Ergebnisse für die Todeszeitbestimmung zu erzielen sind?

3. Welche menschlichen Skelettmuskeln eignen sich besonders gut für dieses Verfahren?

4. Wie genau ist die Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der galvanischen Reizschwelle und in welchem Umfang wird diese Genauigkeit durch den Einfluß von anderen Faktoren wie z. B. der Leichentemperatur oder der Todesart beeinträchtigt?

Material und Methoden

Untersucht wurden 11 Leichen eines nicht ausgewählten Kollektivs. Allein entscheidend war das Vorliegen eines genau bekannten Todeszeitpunktes. — Genaue Angaben des Todeszeitpunktes scheinen selbst in gut geführten Universitätskliniken eine Seltenheit, wenn es sich nicht um Patienten von Intensivabteilungen handelt, deren Untersuchung im Rahmen dieser Fragestellung weniger sinnvoll gewesen wäre.

Auf Tabelle 1 sind die Fälle unter besonderer Berücksichtigung von Todesart und Umgebungstemperatur zusammengestellt. Bedeutsam ist, daß die einzelnen Leichen vor der Messung wechselnden Temperatureinflüssen unterworfen waren.

Die Reizung des Muskels erfolgte über die Haut an den Punkten erhöhter muskulärer Reizbarkeit (motorpoints nach Walthard u. Tchicaloff 1971), mithin in etwa im mittleren Bereich des Muskelbauches. Als Reizelektrode diente eine Kugelelektrode. Die indifferente Elektrode lag der Haut in der Mitte über dem Epigastricum in Form einer Plattenelektrode auf.

Als Reizgerät diente das wegen seines relativ geringen Gewichtes am Tatort einsetzbare Reizstromgerät mit der Typenbezeichnung Neuroton 626 der Firma Siemens.

Das mathematische Modell der Todeszeitbestimmung

Im folgenden soll zunächst im Vorgriff auf die Ergebnisse zu ihrem besseren Verständnis ein mathematisches Modell erörtert werden, mit dessen Hilfe die numerische Todeszeitbestimmung auf einfache Weise vorgenommen werden kann. Dieses Modell wurde im Sinne einer robusten Schätzung bereits an anderer Stelle vorgetragen (Joachim 1978), als gezeigt werden konnte, daß sich hiermit als durchschnittliche Abweichung des geschätzten vom wahren Todeszeitpunkt eine Zeitspanne von 13 min bei einer Standardabweichung von ± 54 min bei den im Mittel pm 11 h ($\pm 2,5$ h) muskulär elektrisch erregbaren Leichen fand.

Das Modell beruht auf der Methode der linearen Regressionsanalyse mit dem Ziel, die Todeszeitbestimmung unmittelbar am Tatort rechnerisch — z. B. mit einem Taschenrechner — oder graphisch durchführen zu können.

Bei der *graphischen Methode* wird von einem halblogarithmischen Koordinatensystem ausgegangen, in das als Ordinate die logarithmierten Meßwerte der galvanischen Reizschwellen und als Abszisse die entsprechenden Meßzeiten eingetragen werden (Abb. 2).

Die erste Messung erfolgt also zum Zeitpunkt $t_0 = 0$. In das Koordinatensystem ist ferner die für einen bestimmten Skelettmuskel primäre pm Reizschwelle A^* zum Zeitpunkt des Todes als Parallele zur Zeitachse eingetragen. Die primären pm Reizschwellen für die 13 untersuchten Skelettmuskeln sind in Tabelle 2 dargestellt — es handelt sich bei diesen Werten um die jeweiligen niedrigsten pm Reizschwellen der einzelnen Muskeln, weswegen sie als primäre pm Reizschwellen bezeichnet worden sind.

Verbindet man die Meßpunkte durch eine Gerade, so ergibt der Schnittpunkt dieser Geraden mit der primären Reizschwelle den geschätzten Todeszeitpunkt t .

Mathematisch läßt sich dieses Verfahren wie folgt begründen. Das exponentielle Anwachsen der elektrischen Reizschwelle des Muskels kann durch die Gleichung

$$(1) \quad Y(T) = A \text{Exp}(b \cdot T)$$

beschrieben werden. Hierbei sind

T [min] = die Zeit post mortem

$Y(T)$ [mA] = die Reizschwelle im Zeitpunkt T

Tabelle 1. Zusammenstellung der untersuchten Fälle des unausgewählten Leichenkollektives mit gesicherten Todeszeiten

Fall-Nr.	Todesart	Alter, Geschlecht, Konstitution	Ort des Todes, Umgebungstemperaturen, Untersuchungsbeginn	Dauer der pm-Reizbarkeit
1	Herz- und Kreislaufversagen	72, weibl., klein, gedrunen	Klinikbett, hochsommerlich; nach ca. 5 h in den Kühlraum, 3-4°C, hier Messungen 5 h 25 min p.m.	9 h 20 min
2	Ca-Kachexie	74, männl., mittelgroß, kachektisch	Klinikbett, jedoch sofortiger Transport in den Kühlraum, 3-4°C, hier Messungen 6 h 30 min p.m.	10 h 30 min
3	Hämorrh. Schock (Verkehrsunfall)	39, männl., mittelgroß, muskulös	Straße, warm (Spätsommer), nach ca. 2 h in Zimmertemperatur (20°C), Messung 2 h 35 min p.m.	12 h 40 min
4	Akutes Herzversagen	78, weibl., mittelgroß, adipös	Straße, sehr warm, ,sofort' in 20°C, Messungen 2 h p.m.	6 h
5	Akutes Herzversagen	75, männl., mittelgroß, stark adipös	Straße, niedrige Temperatur, wenig oberhalb 0°C, ,sofort' in 20°C, Messungen 5 h 20 min p.m.	11 h 25 min
6	Inneres Verbluten, Aortenruptur (Verkehrsunfall)	20, männl., groß, athletisch	Straße, wenig oberhalb 0°C, ,sofort' in 20°C, Messungen 6 h 20 min p.m.	12 h 90 min
7	Akutes Herzversagen	54, männl., mittelgroß, hager	Straße, etwa 0°C, ,sofort' in 20°C, Messungen 3 h 10 min p.m.	10 h 40 min
8	Herz- und Kreislaufversagen im asthmatischen Anfall	62, männl., mittelgroß, stark adipös	Straße, niedrige Temperatur oberhalb 0°C, ,sofort' in 20°C, Messungen 2 h 40 min p.m.	12 h 10 min
9	Herz- und Kreislaufversagen im epileptischen Anfall	41, männl., groß, leicht adipös	Bett, warm; nach ca. 5 h in 20°C, Messungen 5 h 50 min p.m.	9 h 20 min
10	Erstickung durch Aspiration (Verkehrsunfall)	20, männl., mittelgroß, adipös	Straße, etwa 5°C, nach ca. 8 h in 20°C, hier Messungen 9 h p.m.	15 h 20 min
11	Protrahierte E 605-Vergiftung (Suicid)	35, männl., groß, athletisch	Intensivstation, 20°C, hier Messungen 7 h 25 min p.m.	12 h 25 min

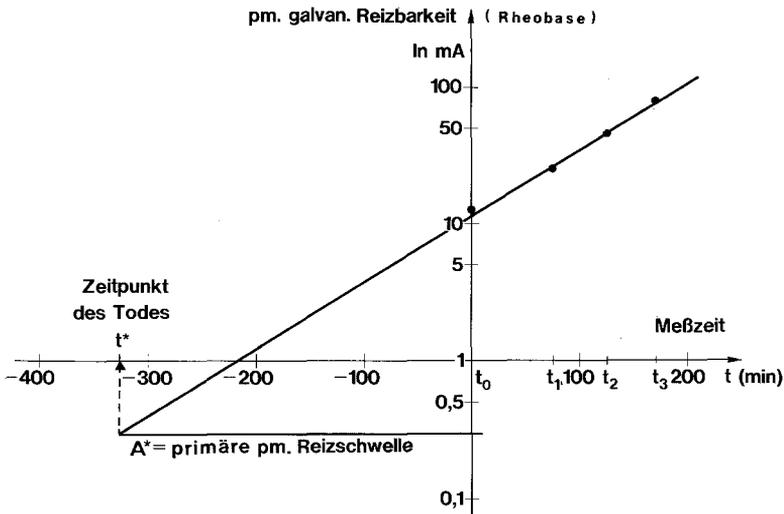


Abb. 2. Graphische Darstellung der Todeszeitbestimmung am Skelettmuskel — hier *M. flexor digitorum communis brevis* = Muskel Nr. 13, Fall Nr. 1, 72jährige Frau mit akutem Herz- u. Kreislaufversagen. Der errechnete Wert der primären pm Reizschwelle $A^* = 0,298$ mA (Tabelle 2). Die geschätzte Todeszeit $t^* = 329$ min, die tatsächliche Todeszeit $t' = 325$ min (Tabelle 3). Die Regressionsgrade ergibt sich durch logarithmische Darstellung der gemessenen pm Reizschwelen gegen die Untersuchungszeiten (Minuten). t_0 = Zeitpunkt der ersten Untersuchung. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,998$

$A = Y(0)$ [mA] = die primäre pm Reizschwelle und
 b [1/min] = die relative Geschwindigkeit des pm Reizschwellenanstieges.

Da das Problem der Todeszeitbestimmung gelöst werden soll, muß die Zeit T pm als nicht bekannt vorausgesetzt werden. Bekannt ist lediglich die Meßzeit t , in der am Tatort die pm galvanische Reizschwelle gemessen wird.

Es ist also t [min] die Meßzeit und $t = 0$ der Zeitpunkt der ersten Messung, dann ist $t^* = T - t$ [min] die tatsächliche Todeszeit, bezogen auf die erste Messung.

Für den exponentiellen Anstieg der galvanischen Reizbarkeit während der Meßzeit t folgt aus Gleichung (1):

$$(2) \quad Y(t) = A^* \cdot \text{Exp}(b \cdot (t + t^*))$$

oder nach Umrechnung

$$(3) \quad Y(t) = A_0 \cdot \text{Exp}(b \cdot t) \quad \text{mit}$$

$$A_0 = A^* \cdot \text{Exp}(b \cdot t^*)$$

dabei ist A_0 [mA] die Reizschwelle zum Zeitpunkt der ersten Messung.

Logarithmiert man nun die Gleichung (3), so ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen dem natürlichen Logarythmus der galvanischen Reizschwelle $y(t) = \ln(Y(t))$ und der Meßzeit t .

$$(4) \quad y(t) = a_0 + b \cdot t \quad \text{mit} \quad a_0 = \ln(A_0).$$

Die Koeffizienten a_0 und b können mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse aus den Meßwerten errechnet werden.

Ist außer a_0 und b gleichzeitig die primäre Reizschwelle A^* bzw. der Logarithmus $a^* = \ln(A^*)$ bekannt, dann kann die Todeszeit T^* berechnet werden. Aus Gleichung (4) folgt nämlich

$$(5) \quad y(-t^*) = a_0 - b \cdot t^*$$

und aus Gleichung (2) folgt nach Logarithmierung

$$(6) \quad y(-t^*) = a^*.$$

Also gilt für die Todeszeit t^*

$$(7) \quad t^* = \frac{a_0 - a^*}{b} \quad (\text{geschätzte Todeszeit}).$$

Die Gleichung (7) gibt die Formel wieder, die im folgenden zur Schätzung der Todeszeit verwendet werden soll. Die Koeffizienten a_0 und b können durch lineare Regression der Meßpunkte im halblogarithmischen Koordinatensystem (Abb. 2) berechnet werden.

Der Logarithmus a^* der primären Reizschwelle post mortem A^* muß pro Muskel geschätzt werden. Methoden zur Schätzung von A^* werden im folgenden Abschnitt (Tabelle 2) gezeigt.

Für den Muskel 13 (*M. flexor digitorum communis brevis*) ergibt sich ein Schätzwert für die primäre Reizschwelle $A^* = 0,298$ mA, und für dessen natürlichen Logarithmus $a^* = -1,209$.

Berechnet man die Regressionsgrade (Abb. 2) bei Leiche 1 und Muskel 13, dann ergibt sich für $a_0 = 2,443$ und $b = 0,0111$. Die Reizschwelle zum Zeitpunkt der ersten Messung ist $A_0 = 11,5$ mA. Die Korrelation zwischen den gemessenen logarithmierten Reizschwellen und der Meßzeit beträgt $r = 0,998$.

Als Schätzung der Todeszeit ergibt sich

$$t^* = \frac{2,443 + 1,209}{0,0111} = 329 \text{ min.}$$

Die tatsächliche Todeszeit betrug 325 min.

Ergebnisse

Nicht in allen Fällen waren die Muskelpaare nach dem Tode noch reizbar. Abb. 3 zeigt die maximale Dauer der pm Reizbarkeit der untersuchten Muskelpaare. Am längsten scheint die Gesichtsmuskulatur erregbar, da hier durch eine raschere Abkühlung die degenerativen Vorgänge offenbar langsamer ablaufen. Auf die Darstellung der gesamten Meßwerte muß im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden. — Die Tabellen können angefordert werden.

Zur Überprüfung der Genauigkeit des Verfahrens ist es erforderlich, daß der Todeszeitpunkt und die primäre Reizschwelle A^* im Zeitpunkt des Todes

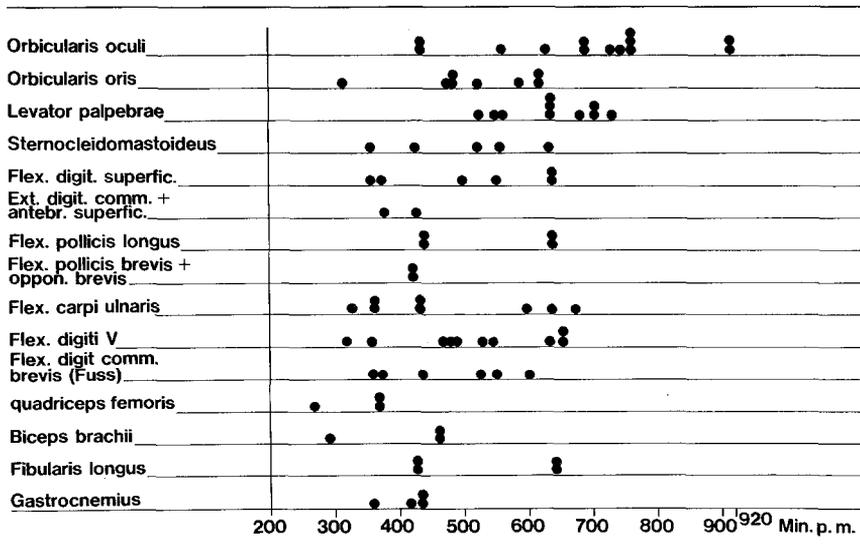


Abb. 3. Die postmortale elektrische Erregbarkeit menschlicher Skelettmuskeln. Die maximale Dauer der postmortalen galvanischen Reizbarkeit der Skelettmuskel von 11 Leichen nach Reizung mit Vierecksreizen von 1000 ms Breite bei Spannungen von etwa 200 V und Reizstärken bis zu 80 mA. Die durchschnittliche pm Erregbarkeit der Muskel beträgt 8 h 55 min \pm 2 h 20 min

bekannt sind. Dieser Schwellenwert ist für jeden Skelettmuskel unterschiedlich. Ferner hängt seine Größe auch von der Todesursache ab.

Um zunächst für die verschiedenen Muskel eine quantitative Angabe über die primäre Reizschwelle im Zeitpunkt des Todes zu gewinnen, wurde bei 13 Muskeln von 8 Leichen (Leichen-Nr. 1—8 der Tabelle 1) nach Gleichung (1) eine lineare Regression

$$(8) \quad y(T) = a + b \cdot T \quad \text{mit } a = \ln(A^*)$$

durchgeführt, wobei T die Zeit pm ist. Das Ergebnis dieser Regression ist in Tabelle 2 dargestellt. — In den Fällen 9—11 (Tabelle 1) lagen für eine weitere statistische Auswertung zu wenig Meßwerte vor.

Neben den Koeffizienten a und b sind jeweils der Korrelationskoeffizient r sowie die Anzahl der Meßpunkte angegeben. Man erkennt den starken linearen Zusammenhang zwischen den logarithmierten Reizschwellen und der Zeit pm daran, daß den 53 in Tabelle 2 durchgeführten Regressionen der Korrelationskoeffizient im Mittel $r = 0,98$ beträgt. Die geringste Korrelation liegt bei $r = 0,92$ und die höchste bei $r = 0,999$. Im Vergleich zu anderen biologischen Zusammenhängen muß die hier gefundene lineare Beziehung als überraschend gut bezeichnet werden.

Das Ergebnis zeigt ferner, daß die individuellen Einflußfaktoren wie z. B. Schwankungen der Umgebungstemperaturen oder die Todesart die Korrelation nicht beeinflussen. Diese Größen schlagen sich lediglich in den Regressionskoeffizienten a und b nieder, d. h. in der individuellen primären pm Reizschwelle $A = \text{Exp}(a)$ sowie in der Geschwindigkeit b des exponentiellen Anstiegs der Reizschwellen.

Die individuellen Faktoren lassen ferner auch keinen Zusammenhang mit den Streuungen der berechneten Todeszeitpunkte erkennen.

Die durchgeführten Regressionen zeigten die folgenden Korrelationskoeffizienten:

für die Umgebungstemperaturen	$r = 0,16480$
für die Todesursachen	$r = -0,05727$
für das Alter der Verstorbenen	$r = -0,06212$
für die Dauer der Untersuchung	$r = 0,36313$

bzw. den Zeitpunkt der letzten Messung.

Um für jeden der bei der Berechnung berücksichtigten 13 Muskel einen Schätzwert A^* für die primäre Reizschwelle zu erhalten, werden in Tabelle 2 pro Muskel die logarithmierten individuellen primären Reizschwellen a gemittelt. Es wird sowohl das arithmetische Mittel \bar{a} und seine Standardabweichung $s_{\bar{a}}$ als auch der Median angegeben.

Ein statistischer Vergleich zeigt, daß die Todeszeiten t^* durch Formel (7) besser geschätzt werden, falls der Median a^* und nicht der Mittelwert \bar{a} als Maß für die logarithmierte primäre Reizschwelle zum Zeitpunkt des Todes genommen wird. Die primären Reizwellen $A^* = \text{Exp}(a^*)$ sind pro Muskel in Tabelle 2 aufgeführt.

Durch die so bestimmten primären Reizschwellen kann nach Formel (7) pro Leiche und Muskel der Todeszeitpunkt t^* geschätzt werden. Tabelle 3 zeigt die geschätzten Todeszeiten t^* im Vergleich zu den tatsächlichen Todeszeiten t' .

Tabelle 2. Ergebnisse der Regression $y(T) = a + b \cdot T$ für die einzelnen Leichen und untersuchten Mus-
 der Meßwerte angegeben. A^* ist die berechnete primäre pm Reizschwelle. Pro Muskel wurde die mittlere

Muskel		Leiche Nr.				
		1	2	3	4	5
1 Orbicularis oculi	<i>a</i>	-0,7505	-1,4203	-0,8306		-2,7631
	<i>b</i>	0,0096	0,0089	0,0061		0,0095
	<i>r</i>	0,983/5	0,998/6	0,972/13		0,994/14
2 Levator palpaebrae	<i>a</i>	-0,1363		-0,0148		-1,1301
	<i>b</i>	0,0078		0,0072		0,0076
	<i>r</i>	0,980/5		0,958/ 9		0,960/13
3 Orbicularis oris	<i>a</i>			0,6238		-0,9020
	<i>b</i>			0,0074		0,0088
	<i>r</i>			0,960/ 7		0,924/ 9
4 Sternocleido- mastoideus	<i>a</i>			0,6450	0,0584	-1,1732
	<i>b</i>			0,0092	0,0124	0,0084
	<i>r</i>			0,989/ 6	0,995/7	0,930/10
5 Biceps brachii	<i>a</i>				-0,2181	-0,8290
	<i>b</i>				0,0156	0,0096
	<i>r</i>				0,998/6	0,979/ 6
6 Flexor digitorum superficialis	<i>a</i>			0,3230	-0,2841	-2,8875
	<i>b</i>			0,0111	0,0128	0,0099
	<i>r</i>			0,993/ 5	0,992/7	0,983/12
7 Flexor pollicis longus	<i>a</i>					-1,4661
	<i>b</i>					0,0085
	<i>r</i>					0,985/12
8 Flexor + opponens pollicis brevis	<i>a</i>		-1,2459	0,01826	-1,4966	-2,9893
	<i>b</i>		0,0091	0,0120	0,0165	0,0094
	<i>r</i>		0,981/6	0,974/ 5	0,989/5	0,995/13
9 Flexor digiti V	<i>a</i>					-1,5565
	<i>b</i>					0,0071
	<i>r</i>					0,990/ 7
10 Quadriceps femoris	<i>a</i>				-0,0723	
	<i>b</i>				0,0160	
	<i>r</i>				0,997/5	
11 Gastrocnemius	<i>a</i>					
	<i>b</i>					
	<i>r</i>					
12 Fibularis longus	<i>a</i>					-0,8945
	<i>b</i>					0,0068
	<i>r</i>					0,993/12
13 Flexor digitorum communis brevis	<i>a</i>	-1,1709	-1,3433	0,4340	-0,3597	-1,2474
	<i>b</i>	0,0111	0,0093	0,0126	0,0126	0,0073
	<i>r</i>	0,998/4	0,936/5	0,994/ 4	0,994/6	0,919/10

kel (a = Intercept, b = Steigung, T = Zeit post mortem). Der Korrelationskoeffizient r ist mit der Anzahl \bar{a}^* und die mediane a^* als logarithmierte primäre pm Reizschwelle (natürl. Logarithmus) berechnet

Leiche Nr.			Primäre pm Reizschwelle			Anzahl der Leichen
6	7	8	Mittelwert $\bar{a}^* \pm s_{\bar{a}}$	Median a^*	$A^* = \text{Exp.}(a^*)$	
-2,4069 0,0088 0,992/16	-2,0353 0,0136 0,985/10	-0,6369 0,0051 0,996/11	-1,549 ± 0,325	-1,420	0,242 mA	7
-1,2090 0,0071 0,993/ 4	-0,2195 0,0065 0,987/14	-0,0710 0,0046 0,997/11	-0,463 ± 0,225	-0,191	0,826 mA	6
-1,6755 0,0083 0,972/10	0,4086 0,0073 0,999/ 3	-0,1776 0,0058 0,991/14	-0,345 ± 0,425	-0,178	0,837 mA	5
-0,8965 0,0095 0,996/ 4			-0,342 ± 0,422	-0,758	0,468 mA	4
			-0,524 ± 0,305	-0,524	0,592 mA	2
	-1,9894 0,0109 0,977/13		-1,210 ± 0,743	-1,686	0,185 mA	4
	-1,8407 0,0103 0,971/10		-1,653 ± 0,187	-1,653	0,191 mA	2
	-1,5734 0,0101 0,977/10	-1,5056 0,0110 0,989/ 4	-1,438 ± 0,412	-1,501	0,223 mA	6
-2,1087 0,0112 0,949/ 3	-1,7361 0,0115 0,975/ 9	-1,4524 0,0104 0,996/ 4	-1,713 ± 0,144	-1,684	0,186 mA	4
	0,2250 0,0081 0,938/ 8		+0,076 ± 0,149	+0,076	1,079 mA	2
	0,2225 0,0073 0,980/10	1,1082 0,0076 0,976/ 9	+0,665 ± 0,443	+0,665	1,944 mA	2
	-0,4282 0,0081 0,976/10		-0,661 ± 0,233	-0,661	0,516 mA	2
-1,8301 0,0122 — / 2	-1,5171 0,0078 0,960/16	-0,6270 0,0103 0,998/12	-0,957 ± 0,259	-1,209	0,298 mA	8

Tabelle 3. Gemessene Werte (t') und berechnete Werte (t^*) der Todeszeit pro Leiche und Muskel mit An-Korrelation $r(t', t^*)$ zwischen gemessenen und berechneten Todeszeitpunkt angegeben

Muskel	Leiche Nr.									
	1		2		3		4		5	
	t'	t^*	t'	t^*	t'	t^*	t'	t^*	t'	t^*
1 Orbicularis oculi	325	374	390	390	155	252			340	199
2 Levator palpebrae	325	367			160	184			355	231
3 Orbicularis oris					160	268			320	249
4 Sternocleido-mastoideus					155	307	150	216	320	270
5 Biceps brachii							120	140	320	288
6 Flexor digitorum superficialis					170	351	150	260	375	238
7 Flexor pollicis longus									360	382
8 Flexor + opponens pollicis brevis			390	418	155	296	180	180	375	217
9 Flexor digiti V									450	468
10 Quadriceps femoris							150	141		
11 Gastrocnemius										
12 Fibularis longus									370	335
13 Flexor digitorum communis brevis	325	329	390	376	155	286	155	217	490	485
Mittelwert $\bar{\Delta}t \pm s_{\bar{\Delta}t}$ der Differenzen	-31 ± 14		-4 ± 12		-119 ± 19		-42 ± 19		63 ± 19	
Median der Differenzen	-42		0		-130		-65		49	
Anzahl Muskel	3		3		7		6		11	

gaben des Mittelwerts $\bar{\Delta}t$ und der Standardabweichung $s_{\bar{\Delta}t}$, der Differenzen $\Delta t = t' - t$. Pro Muskel ist die

*						Mittelwert der Differenzen $\bar{\Delta}t \pm s_{\bar{\Delta}t}$	Median der Differenzen	Anzahl der Leichen	Korrelation $r(t', t^*)$
Leiche Nr.		7		8					
t'	t^*	t'	t^*	t'	t^*				
380	268	190	145	160	312	0 ± 41	0	7	0,393
385	242	190	186	165	191	30 ± 33	-24	6	0,608
390	211	190	270	170	170	13 ± 52	0	5	-0,129
410	395					-38 ± 45	-49	4	0,724
						6 ± 26	6	2	—
		210	182			-35 ± 68	-74	4	-0,330
		210	192			-2 ± 20	-2	2	—
		210	203	185	185	-1 ± 40	1	6	0,537
400	362	210	206	185	207	1 ± 14	-16	4	0,979
		220	239			-5 ± 14	-5	2	—
		220	159	225	283	2 ± 60	2	2	—
		225	254			3 ± 32	3	2	—
395	344	220	181	200	256	-19 ± 22	1	8	0,885
		89 ± 26	6 ± 10	-45 ± 20					
		58	4	-26					
		6	10	7					

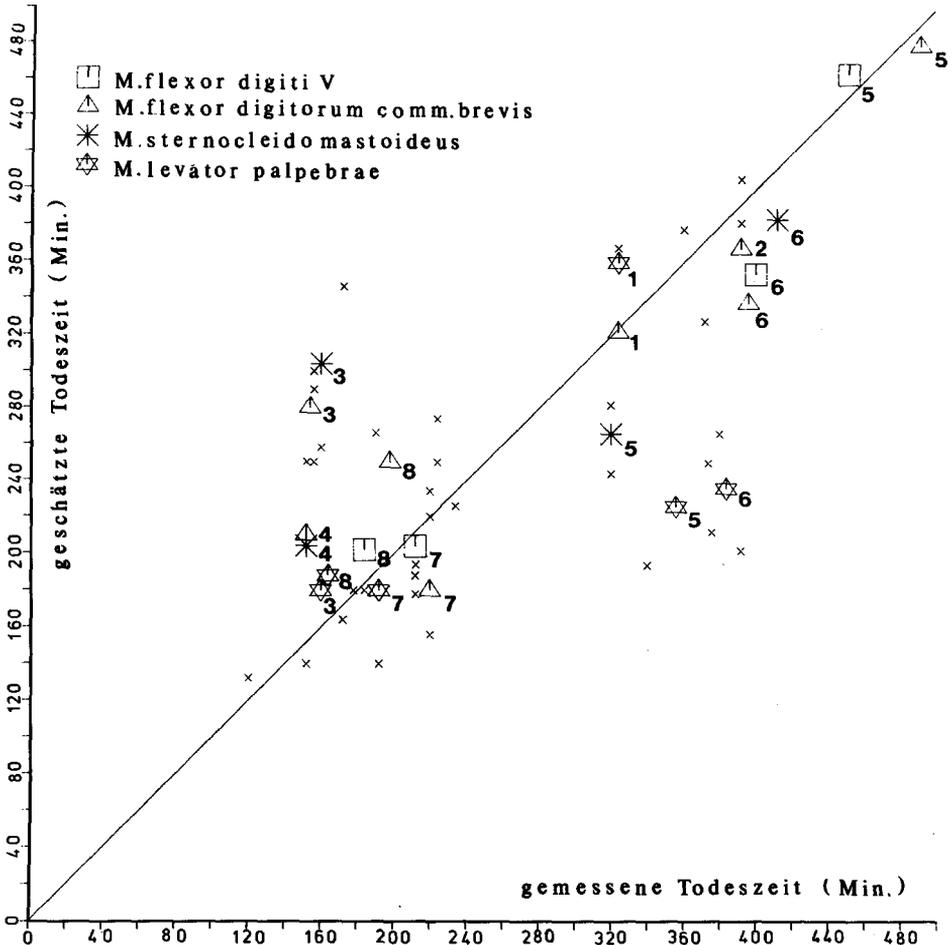


Abb. 4. Vergleich zwischen gemessener (t') und berechneter (t^*) Todeszeit der für das Verfahren bisher am besten geeigneten Muskelpaare (Tabelle 3). Die Indizes der Symbole stellen die Fallnummern der untersuchten Leichen (Tabelle 1) dar. Die Korrelation ist am höchsten bei dem M. flexor digiti V ($r = 0,979$) und flexor digitorum communis brevis ($r = 0,885$)

Es findet sich eine im allgemeinen gute Übereinstimmung zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Todeszeiten. Die größten Abweichungen finden sich in den Fällen 3 und 6 mit -119 min und $+89$ min bei einer pm Reizbarkeit der Leichenmuskulatur von über 12 h. In beiden Fällen handelt es sich um polytraumatisierte Opfer von Verkehrsunfällen, so daß mit Zerrungen der untersuchten Muskel zu rechnen war und z. B. auch der zuverlässigste Muskel des Verfahrens, der M. flexor digiti V, nicht untersucht werden konnte.

Stellt man die Frage, welche Muskel sich besonders gut zur Todeszeitbestimmung eignen, so ergibt sich aus den Korrelationen zwischen geschätzten und tatsächlichen Todeszeiten (Tabelle 3), daß sich die Muskel 9 (M. flexor digiti V), Muskel 13 (M. flexor digitorum communis brevis), Muskel 4 (M. sternocleidomastoideus) und Muskel 2 (M. levatur palpaebrae) als sehr zuverlässig erweisen.

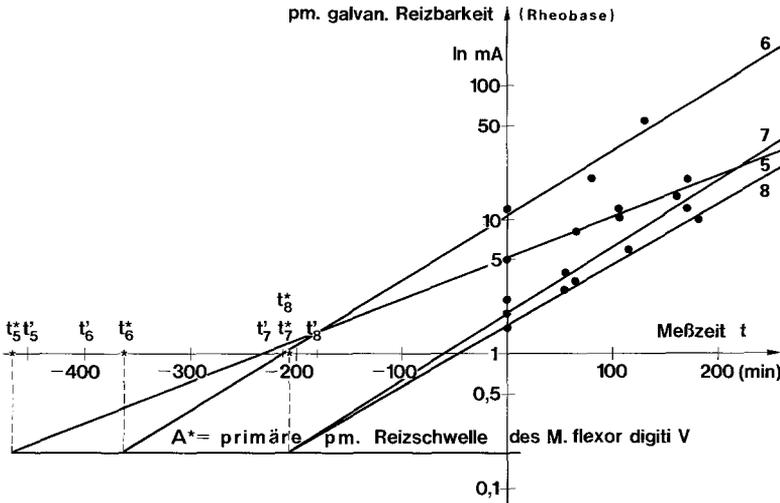


Abb. 5. Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der pm galvanischen Reizschwelle des M. flexor digiti V bei den Leichen Nr. 5, 6, 7 und 8 (Tabelle 1). Die Schwellenwerte in mA sind logarithmiert. t' = tatsächliche Todeszeit, t^* = berechnete Todeszeiten

— Da ein unvollständiger Versuchsplan vorliegt, können allerdings keine inferenzstatistischen Tests durchgeführt werden.

Die Beziehung zwischen geschätzter und tatsächlicher Todeszeit ist in Abb. 4 graphisch dargestellt.

Durch die Symbole werden die einzelnen Skelettmuskeln und durch die Indices die einzelnen Leichen gekennzeichnet. Auch optisch zeigt sich, daß sich das hier vorgestellte Verfahren als sehr präzise erweist.

Für den Muskel 9 (M. flexor digiti V), der sich nach unseren Untersuchungen als der geeignetste Muskel zur Todeszeitbestimmung anbietet, wird in Abb. 5 nochmals die graphische Methode zur Todeszeitbestimmung dargestellt. Dabei sind sämtliche Leichen, an denen dieser Muskel untersucht wurde, aufgeführt.

Gleichzeitig ist jeweils die geschätzte und die tatsächliche Todeszeit angegeben. Die gute Übereinstimmung der Werte ist erkennbar. — Für den M. flexor digiti V ergibt sich aus Tabelle 2 ein Wert von $A^* = 0,186$ mA als primäre pm Reizschwelle.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich die hier angegebene Methode zur Todeszeitbestimmung schon bei den relativ wenig untersuchten Leichen als außerordentlich zuverlässig erweist.

Diskussion

Der pm Anstieg der Reizschwelle für Rechteckreize (Rheobase) ist am menschlichen Skelettmuskel bisher nicht untersucht worden. Durch die vorliegende Arbeit konnte eine gesetzmäßige Abhängigkeit des pm Anstieges der Reiz-

schwelle von der Untersuchungszeit mit einer durchschnittlichen Korrelation von $r = 0,98$ an 11 nicht ausgewählten Todesfällen verschiedener Todesarten in unterschiedlichen Umgebungstemperaturen nachgewiesen werden und eine gute Übereinstimmung zwischen den bekannten und den errechneten Todeszeiten aufgezeigt werden.

Hierbei kann die Todeszeitbestimmung sowohl graphisch durch Übertragung der Meßwerte in ein halblogarithmisches Koordinatensystem als auch numerisch durch Berechnung der Regressionsgrade erfolgen, wenn die primäre pm Reizschwelle als niedrigster Wert der Untersuchung bekannt ist.

Dieser Wert läßt sich für jeden einzelnen Muskel aus dem Kurvenverlauf schätzen, wenn mindestens 4 Meßpunkte bekannt sind.

Die Regressionskoeffizienten können bei den verschiedenen Muskeln durch die lineare Regression bestimmt werden — ggf. mit einem elektronischen Kleinrechner von Taschenformat.

Noch einfacher ist die Todeszeitbestimmung graphisch möglich, da für jeden Muskel bzw. einige Muskel gemeinsam nur eine Schablone angefertigt zu werden braucht, auf der als fester Wert die primären pm Reizschwellen eingetragen sind.

Da in dieser Arbeit insgesamt 13 Muskeln auf ihre Tauglichkeit zur Todeszeitbestimmung analysiert wurden, kann ferner als Ergebnis festgehalten werden, daß der *M. flexor digiti V* und der *M. flexor digitorum communis brevis* besonders gut zur Todeszeitbestimmung zu verwenden sind. Das scheint daran zu liegen, daß hier die Muskelzuckung als Bewegungsvorgang der Finger bzw. Zehen besonders gut zu erkennen ist und deswegen die Reizschwelle genauer bestimmt werden kann als bei der Muskulatur, deren Zuckung durch Wulstbildung der Haut festgestellt werden muß.

Die Untersuchungen haben ferner gezeigt, daß dieses Verfahren unter Umständen noch 14 bis 15 h post mortem Ergebnisse verspricht und somit bei entsprechend frühzeitiger Entdeckung eines Leichnams noch anwendbar ist, wobei die Dauer der pm Reizbarkeit ohne Einfluß auf die Genauigkeit der Ergebnisse bleibt. Im wesentlichen fallen aber gegenüber bisher bekannten Verfahren folgende Vorzüge ins Gewicht.

Es handelt sich um eine Methode, die eine Todeszeitbestimmung auf mathematischer statistischer Grundlage an einer Leiche durch Untersuchung mehrerer Muskel zu unterschiedlichen Zeiten mit Erhebung einer großen Anzahl von Meßwerten ermöglicht und die damit kalkulierbaren Beweiswert besitzt.

Das Verfahren kann leicht und schonend an der Leiche, d. h. auch ohne Eingriffe durchgeführt werden. Das Verfahren ist unabhängig von der Todesart und der Umgebungstemperatur. Bei seiner Durchführung braucht nicht der gesamte Bereich der pm elektrischen Reizbarkeit des Muskels ausgewertet werden, vielmehr genügen im Prinzip vier Meßpunkte pro Muskel.

Am Leichenfundort sind sofort anhand der Meßwerte Angaben zur Todeszeit möglich.

Die Erstellung von Eichwerten anhand bekannter Vergleichskollektive ist nicht wie bei allen anderen Verfahren erforderlich. Sogenannte Ausreißer unter den Meßwerten sind leicht durch die lineare Regression zu erkennen und aus der Berechnung eliminierbar. Die beobachteten Streuungen sind im Vergleich mit denen der am häufigsten eingesetzten Methoden als sehr gering zu bezeichnen.

Von diesen darf die Messung der abfallenden Temperaturen der Leichenorgane als das am meisten praktizierte und dann als das genaueste Verfahren gelten, wenn es innerhalb der ersten 8 h pm angewendet wird, wobei bereits nach 8 h mit einer Aussagegenauigkeit von etwa 2—4 h zu rechnen ist (Mallach 1971; Naeve u. Apel 1973; Sellier 1958).

Bei späteren Untersuchungszeiten sind Vergleichsdaten von bekannten Leichenkollektiven erforderlich, da eine Reihe von konstitutionellen Faktoren der Leiche und Umwelteinflüsse den Verlauf der Temperaturkurven beeinflussen (Brown u. Marshall 1974; Brinkmann et al. 1976; de Saram et al. 1953; Reimann 1968; Spann et al. 1968; James u. Knight 1965).

Die Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der Muskelstarre führt nur bei Kenntnis der Umgebungstemperaturen am Liegeort der Leiche zu verwertbaren Ergebnissen und scheint wesentliche höhere Aussagegenauigkeiten als die Messung der Leichentemperaturen in sich zu bergen (Mallach u. Mittmeyer 1971).

Die von Forster et al. (1971) entwickelte Methode der Starrebeurteilung durch Messung der Starbrechungskraft zeigt von den Todesarten und den Umgebungstemperaturen abhängige Ergebnisse, so daß zur Schätzung ihres Streubereiches Meßdaten von umfangreichen Vergleichskollektiven erarbeitet werden müssen. Ferner scheinen verschiedene mechanische Größen bei der Durchführung der Methode und anatomische Parameter der Leiche von Einfluß auf die Meßwerte zu sein (Beier et al. 1977).

Diesen individuellen Faktoren kommt schließlich deswegen so erhebliche Bedeutung für die Beurteilung der Totenstarre wie auch für zahlreiche andere Methoden der Todeszeitbestimmung zu, weil sich hierbei die Aussage immer nur an ganz wenigen Meßwerten des einzelnen Falles zu orientieren hat.

Zusammenfassend handelt es sich bei der Untersuchung der pm galvanischen Reizschwelle des Skelettmuskels um eine leicht zu praktizierende Methode der frühen Todeszeitbestimmung, die am Tatort sofort ohne Eingriff an der Leiche zu Ergebnissen führt, die im Vergleich mit bisher bekannten Verfahren eine sehr geringe Streuung zeigen. Es kann gesagt werden, daß sich die Methode schon nach Untersuchung der relativ wenigen Fälle als außerordentlich zuverlässig erwies, weswegen sie für die rechtsmedizinische Praxis empfohlen werden kann.

Literatur

- Beier G, Liebhardt E, Schuck M, Spann W (1977) Totenstarremessungen an menschlichen Skelettmuskeln in situ. *Z Rechtsmed* 79:277–283
- Bichat X (1800) *Recherches physiologiques sur la vie et la mort*. (In dtsh Übersetzung bei Barth, Leipzig 1912)
- Brinkmann B, May D, Rieman U (1976) Postmortaler Temperatúrausgleich im Bereich des Kopfes. *Z Rechtsmed* 78:69–82
- Brown A, Marshall TK (1974) Body temperature as a means of estimating the time of death. *J Forensic Sci* 4:125–133
- Créve CC (1796) Vom Metallreiz, einem neuentdeckten untrüglichen Prüfungsmittel des wahren Todes. Heinsius, Leipzig u. Gera
- Devergie A (1841) *Mors*. In: *Universalexikon der praktischen Medizin und Chirurgie*, Bd 9. Franke'sche Verlagsexpedition, Leipzig

- Forster B, Eisenmenger W (1971) Elektrophysiologische Untersuchungen an der absterbenden Muskulatur. Vortrag zur 3. Tagung der Ges Gerichtl Med der DDR, Berlin
- Forster B, Duensing F (1970) Elektrophysiologische Untersuchungen an der absterbenden Muskulatur. Vortrag zur 49. Jahrestag Dtsch Ges Rechtsmed, Bern
- Forster B, Ropohl D, Raule P (1977) Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FRR-Index. *Z Rechtsmed* 80:51-54
- Humboldt A von (1797) Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern (zitiert nach Bichat X)
- James WRL, Knight BH (1965) Errors in estimating time since death. *Med Sci Law* 5:111-116
- Joachim H (1976) Experimentelle Grundlagen einer neuen Möglichkeit der Todeszeitbestimmung am Skelettmuskel. Vortrag zur 55. Jahrestag Dtsch Ges Rechtsmed, München
- Joachim H (1978) Erste Ergebnisse der Todeszeitbestimmung durch Untersuchung des postmortalen Anstiegs der elektrischen Reizschwelle (Rheobase) menschlicher Skelettmuskel. 57. Jahrestag Dtsch Ges Rechtsmed, Düsseldorf
- Joachim H, Forster B (1972) Elektrophysiologische Untersuchungen an der absterbenden Muskulatur. Vortrag zum 2. czechoslowakischen Kongreß Gerichtl Med, Prag
- Klein A, Frank KH, Klein S (1972) Neuere Ergebnisse bei der Todeszeitbestimmung durch elektrische Reizung. *Kriminalistik Forens Wiss* 10:98
- Krause D, Klein A, Hamann B (1974) Elektrisches Reizgerät mit stufenweise regelbaren Reizparametern zur Bestimmung der Todeszeit. *Kriminalistik Forens Wiss* 16:179
- Krause D, Klein A, Mattig W, Waltz H (1978) Praktische Erfahrungen mit dem Reizgerät „D76“ zur Todeszeitbestimmung. VI. Kongreß Ges Gerichtl Med, Halle. (Zit. aus Leopold D, Hunger H (1979) Die ärztliche Leichenschau. *JA Barth, Leipzig*)
- Mallach HJ (1964) Zur Frage der Todeszeitbestimmung. *Berl Med Hefte* 18:577-582
- Mallach HJ, Mittmeyer HJ (1971) Totenstarre und Totenflecke. Methodische Auswertung der Todeszeit mit Hilfe maschineller Datenverarbeitung. *Z Rechtsmed* 69:70-78
- Naeve W, Apel D (1973) Hirntemperatur der Leiche und Todeszeit. *Z Rechtsmed* 73:159-169
- Nagy J (1968) The postmortem exitability of the skeletal muscles. *J Acta Med Leg Soc (Liege)*: 177-179
- Nysten PH (1811) Von der Erstarrung, welche die Körper der Menschen und Tiere nach dem Tode befällt. In: *Recherches de physiologie et de chimie pathologiques, pour faire suite à celles de Bichat sur la vie et la mort*. JA Brosson, Paris
- Popwassilew J, Palm W (1960) Über die Todeszeitbestimmung in den ersten zehn Stunden. *Ärztl Fortb* 54:734-737
- Prokop O (1966) *Forensische Medizin*. 2. Aufl. VEB Volk u Gesundheit, Berlin
- Puppe G (1908) *Atlas und Grundriß der gerichtlichen Medizin*. Lehmann, München
- Radam G (1963) Ein elektronisches Reizgerät zur Todeszeitbestimmung. *Dtsch Ges Wes* 18:1400-1401
- Reimann W (1968) Über den Auskühlungsmodus der Leiche. *Beitr Gerichtl Med* 24:57-62
- Saram GSW de, Webster G, Kathirgamatamby N (1955) Post-mortem temperature and the time of death. *J Crim Law Pol Sci* 46: 562-577
- Sellier K (1958) Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve. *Acta Med Leg Soc (Liege)* 11:279-302
- Spann W, Liebhardt E, Terfloth P (1968) Fortlaufende Temperaturmessungen in der Leber und in der Muskulatur der unteren Extremitäten. In: *Aktuelle Fragen der gerichtlichen Medizin*. 3. Halle (Saale), S 243-248
- Schmidt O, Forster B, Döring G, Schulz G (1964) Untersuchungen über die kontraktische, elastische und plastische Verformung des totenstarrten Muskels und die Beziehung der Starre zum postmortalen Stoffwechsel. *Extr Act Med Leg Soc* 17:37-49
- Taylor AS (1910) *Manuel of medical jurisprudence*, 6th edn. Churchill, London
- Walthard KM, Tschaloff M (1971) Motor points. In: Licht S (ed) *Electrodiagnosis and electromyography*, III. edn. Waverly Press Incorp, Baltimore, Maryland
- Waltz H, Mattig HW (1974) Elektrische Messungen an Leichen für die Konstruktion eines elektronischen Reizgerätes zur Todeszeitbestimmung. *Kriminalistik Forens Wiss* 16:157