Der Restkohlenstoff- und Reststickstoffgehalt des Muskels und ihre postmortale Veränderung.

(II. Mitteilung über die Todeszeitbestimmung.*)

Von

Takesi Inouye.

(井 上 剛)

*(Aus dem gerichtlich-medizinischen Institut der Kaiserlichen
Universität zu Sendai. Vorstand: Prof. Dr. T. Ishikawa.)*

Einleitung.

Als Massstab der Autolyse oder Fäulnis der Gewebe und Organe bedient man sich öfters des sogenannten Reststickstoffs. Da dieser im wesentlichen aus organischen Stickstoffverbindungen besteht, so muss im enteisssten Filtrat auch die Menge des Kohlenstoffs zunehmen. Soweit es den Eiweisszerfall anbetrifft, muss der Restkohlenstoff im grossen ganzen ebenso schnell wie der Reststickstoff zunehmen. Aber mit den Geweben und Organen liegt die Sache anders. Es ist bekannt, dass bei Autolyse oder Fäulnis flüchtige Substanzen wie Ammoniak und Kohlensäure gebildet werden. Weiter nehmen auch Fette, Kohlenhydrate und andere stickstofffreie Gewebsbestandteile an der Bildung des Restkohlenstoffs teil.

Während zahlreiche Angaben über den Reststickstoff der Gewebe und Organe, insbesondere des Bluts, unter verschiedenen Bedingungen vorliegen, ist der Restkohlenstoff, einige Komponenten wie Milch- und Fettsäure ausgenommen, bisher selten Gegenstand der Untersuchung gewesen. Soweit es mir zur Verfügung stand, waren im Schrifttum nur wenige Mitteilungen über den Restkohlenstoff des Bluts zu finden. Gewebe und Organe scheinen bisher weder im frischen Zustand noch im Laufe ihrer postmortalen Zersetzung auf

* I. Mitteilung: Inouye, T., Über postmortale Veränderungen des Fettgewebes, zugleich ein Beitrag zu seinem Geschlechtsunterschiede. Tohoku J. Exp. Med., 1933, 21, 532.

ihren Restkohlenstoffgehalt hin untersucht worden zu sein. Zur Klärung des Stoffumsatzes in Geweben und Organen schien es mir wünschenswert, diese Lücke im Schrifttum durch gleichzeitige Bestimmung des Reststickstoffs und -kohlenstoffs zu füllen. Die vorliegende Mitteilung enthält die Ergebnisse der Untersuchungen in dieser Richtung.

Diese sozusagen synthetische Untersuchung sieht ihren zweiten, oder richtiger den Hauptzweck im Auffinden eines praktischen Mittels zur Bestimmung der Todeszeit. Forscher wie Ido und seine Mitarbeiter¹⁾ haben die postmortalen Veränderungen im Reststickstoff verschiedener Organe des Kaninchens mit der Absicht verfolgt, sie zum Zweck der Todeszeitbestimmung anzuwenden. Sie legten dabei grosses Gewicht auf Gehirn, Lunge, Leber und Niere, als Vertreter der Organe in der Schädel-, Brust- und Bauchhöhle, und sahen die Summe der Werte für die vier Organe als Massstab der Leichenfäulnis an. Bei dieser Arbeit fanden sie die Reststickstoffzunahme im Muskel am niedrigsten. Ausserdem kann man aus Tabellen in ihren Abhandlungen ersehen, dass die Werte für den Muskel am wenigsten individuelle Schwankungen zeigen. Damit steht es wahrscheinlich in Zusammenhang, dass die Organe in der Brust- und Bauchhöhle schon während des Lebens grosse, und zwar individuell sehr verschiedene Mengen Mikroorganismen enthalten. Jedenfalls ist bei der praktischen Anwendung die Beschränktheit der individuellen Schwankungen von nicht geringem Vorteil.

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Muskel als Versuchsobjekt ausgewählt und die Veränderungen des Restkohlenstoffs und des Reststickstoffs in ihm nebeneinander verfolgt. Dies lässt sich der Grundidee nach etwa mit der Triangulation vergleichen, insofern als man das Objekt von zwei verschiedenen Anhaltspunkten aus betrachtet. Durch diese, wenn man so sagen darf, stereometrische Schätzungsweise kann man sicherlich das Leichenalter viel besser beurteilen als bei blossem Gebrauch des Reststickstoffs als Basis der Messung. Ferner würde man durch Festsetzung irgendeines bestimmten Verhältnisses zwischen beiden Restwerten als Massstab die mehr oder minder starken individuellen Schwankungen ausschalten. Das gilt freilich nur, wenn gesetzmässige Verhältnisse zwischen dem Reststickstoff und -kohlenstoff einerseits und zwischen den beiden Werten und der nach dem Tod verfloßenen Zeit anderseits bestehen. Aus

1) Ido, R. u. Momonoi, K., Okayama-Igakkai-Zasshi, 1931, 43, 163; Ido, R. Momonoi, K. u. Nishizaki, B., *ibid.*, 1933, 45, 490 u. 1280.

den Resultaten dieser Untersuchung ergibt sich nun, dass dies wirklich der Fall ist. Überdies hat es sich herausgestellt, dass diese stereometrische Betrachtungsweise den grossen Vorteil hat, sonst unvermeidbare individuelle Schwankungen beträchtlich auszugleichen, was für unsere Aufgabe selbstredend von grundsätzlicher Bedeutung ist.

Material.

Als Versuchsmaterial wurde der Muskel des Kaninchens benutzt. Um individuellen Schwankungen vorzubeugen, wurde der Versuch so angeordnet, dass man für jede Versuchsreihe ausschliesslich die Muskeln, und zwar die der Extremitäten, ein und desselben Tiers benutzt, wobei die Proben jedesmal dem unter unverletzter Hautdecke liegenden Muskel entnommen wurden. Auf diese Weise wurden störende Einflüsse der Wunde auf die Resultate der Untersuchung vermieden. Zur Gewinnung des Materials wurde das Tier aus Carotis verblutet, dann wurde der m. quadriceps femoris sin. schnell abpräpariert, ausgeschnitten und sofort weiter bearbeitet. Nach festem Vernähen der Hautwunde liess man die Leiche auf dem aus Mörtel bestehenden Boden eines feuchten Zimmers mit Fliegengarn liegen. Am vierten Tage wurde die zweite Probe dem m. quadriceps femoris dext. entnommen, nach einer Woche dem m. triceps brachii sin., nach zwei Wochen dem m. triceps brachii dext., nach drei Wochen dem m. gluteus, sin. und nach vier Wochen dem m. gluteus dext. Nach jeder Probeentnahme wurde die Hautwunde vorsichtig zugenäht und vor unnötig grosser Infektion bewahrt. Bei Ausführung der Versuche wurden immer je drei Kaninchen derselben Herstammung und des gleichen Alters, die während einer bestimmten Zeit gleicherweise im Institut ernährt worden waren, zusammen untersucht.

In einem Versuch wurde die Kaninchenleiche die ganze Versuchsdauer hindurch in einem mit Wasserdampf gesättigten Brutschrank bei 25° gehalten. Die Weise der Probeentnahme war dieselbe wie bei den andern.

Methodik.

Von dem nach obiger Darstellung gewonnenen und von Fascien, Sehnen, Blutgefässen, Binde- und Fettgeweben möglichst befreiten Muskelstück wurden 3,0 g abgewogen und zuerst mit der Schere und dann im Mörser zerkleinert. Der Muskel wurde unter Zusatz von

0,6 g Seesand, der mit Salzsäure und Wasser gründlich ausgewaschen und gegläht worden, und darauf unter allmählichem Zusatz von 6,0 ccm Wasser aus einer Bürette weiter zerkleinert, bis schliesslich ein feiner homogener Muskelbrei übrigblieb.

Enteiweissung. Zur Enteiweissung wurde das bekannte Folin-Wusche Wolframatreagens, unter Abänderung des Mischungsverhältnisses, benutzt. Das Originalverfahren ist zwar zur Enteiweissung des frischen Muskels gut, wenn auch nicht stets, geeignet, jedoch gibt beim alten Material gewöhnlich getrübbte Filtrate. Nach einer Reihe von Vorversuche hat es sich herausgestellt, dass die Bildung von Proteosen und Peptonen daran schuld ist, und dass sich eine vollkommene Enteiweissung des alten Muskels, ganz wie beim frischen, durch Zusatz grösserer Mengen von Reagenzien erzielen liess.

6,40 g Muskelbrei, entsprechend 2 g des Muskels, wurden in einen weithalsigen (Durchmesser 1,5 cm), 20 ccm fassenden Messkolben gewogen und mit etwas Wasser verdünnt. 3 ccm einer frisch hergestellten 10%igen Lösung von Natrium wolframicum „Kahlbaum“ p. anal., Schering-Kahlbaum, wurden dem Muskelbrei zugesetzt, alles durch Umschwenken des Kolbens gut gemischt, dies dann mit 4 ccm $\frac{2}{3}n$ H_2SO_4 versetzt, zuletzt mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt und Kolbeninhalt gründlich geschüttelt. Nach einiger Zeit wurde der Kolbeninhalt zentrifugiert und die obenstehende klare Flüssigkeit, die sich durch Sulfosalizylsäure und Esbachsche Reaktion als eiweissfrei erwies, den folgenden Bestimmungen unterworfen.

Bestimmung des Restkohlenstoffs. Dem Zweck der Untersuchung und der Beschaffenheit des Materials entsprechend, wurde die Bestimmung auf nassem Weg ausgeführt. Dank dem grossen Fortschritt der Mikrochemie stehen uns gegenwärtig mehrere Verfahren der Kohlenstoffbestimmung auf nassem Weg zur Verfügung, die grösstenteils auf demselben Prinzip beruhen und sich nur durch die Einrichtung des Apparats unterscheiden. Gewöhnlich verbrennt man das Material mit Schwefel- und Chromsäure, öfters unter Zusatz eines Katalysators, und fängt die entstehende Kohlensäure mit Natronkalk oder Barytwasser ab, während einige Autoren, wie etwa Lustig,¹⁾ als Oxydationsmittel Permanganat dem Chromat vorziehen. Besondere Versuche zeigten, dass das Verfahren von Lieb und Krainick²⁾ die zuverlässigsten Resultate liefert. Daher wurde in vorliegender

1) Lustig, B., Biochem. Zschr., 1927, 184, 67.

2) Lieb, H. u. Krainick, H. G., Mikrochem., 1931, 9, 367.

Untersuchung dieses letztgenannte Verfahren mit einigen Modifikationen angewandt.

Zunächst dient beim Verfahren von Lieb und Krainick zum Verschluss des Absorptionsgefäßes nicht der Gummistopfen, sondern bloss eine dünne Gummimanschette mit vier Bohrungen; deshalb kann der Verschluss kaum genügen. Ausserdem ist das Festhalten des Gefäßes ziemlich unsicher. Folglich wurde dies so umgeändert, wie es Fig. 1 halbschematisch darstellt. Das neue Absorptionsgefäß zerfällt in zwei Teile: A und B, welche mit Hilfe einer Gummimanschette Gm miteinander verbunden sind, wobei die glatt geschliffenen Enden beider Teile dicht aneinander liegen. Als Manschette verwendet man mit Vorteil einen pneumatischen Fahrradreifen. Der Teil A ist mit einem Gummistopfen verschlossen, der von dem Gasverteiler

Gf, welcher mit dem ausgezogenen Ende des Verbrennungsrohrs Vr mittels eines Gummischlauchs dicht verbunden ist, und von zwei Mikrobüretten durchbohrt wird. Unterhalb des Gummistopfens sind zwei Ansätze angeschmolzen: einer ist mit einem Glashahn versehen, der mittels eines Gummischlauchs die Verbindung mit der Mariottschen Flasche herstellt, und der andere, der sich mit Hilfe eines ventilartig arbeitenden Glasstäbchens Gst luftdicht verschliessen lässt, dient zur Einführung phenolphthaleinhaltigen Alkohols. Der Teil B bildet das eigentliche Absorptionsgefäß und kann bei der Titration ruhig geschüttelt werden, ohne dass sich dadurch die Verbindung mit A löst. Es lässt sich ferner nach jeder Bestimmung leicht waschen, reinigen und auslaugen.

Beim Originalverfahren führt man im Anfang Alkohol und Phenolphthalein ins leere Absorptionsgefäß ein, bevor man die Luft aus dem ganzen System austreibt. Aber der Alkohol verdunstet dann allmählich während der Bestimmung. Das neue Absorptionsgefäß hat einen Ansatz, durch welchen zu jeder Zeit nach Belieben Alkohol

eingeführt werden kann. Phenolphthalein wird hier, mit Alkohol vermischt, zugesetzt.

Die Spitzen der beiden Mikrobüretten für Barytwasser und Salzsäure sind etwas gebogen und führen direkt durch den Gummistopfen ins Absorptionsgefäss, wodurch die Verbindung durch einen Gummischlauch, wie beim Originalverfahren, ausschaltet. Auch die Mikrobüretten und Standgefässe sind nicht durch einen Gummischlauch, sondern durch Glasröhrchen miteinander verbunden.

Schliesslich wurde die Kapazität des Oxydationskolbens und dementsprechend auch die des Absorptionsgefässes etwas vergrössert, weil unser Material voluminös war, und weil sich zuverlässige Resultate erst durch Verwendung grösserer Materialmengen gewinnen liessen. Die Grösse der einzelnen Proben wurde so gewählt, dass sie 1 bis 6 mg C enthielten.

Es sei erwähnt, dass der richtigen Zubereitung der Reagenzien und der Reinigung der Apparatur besondere Beachtung geschenkt wurde. Das zur Oxydation dienende Schwefelsäure-Silberdichromatgemisch wurde genau nach der Vorschrift unter vollkommenem Ausschluss von Feuchtigkeit hergestellt. Ich habe mich davon überzeugt, dass schon eine geringe Spur Wasser merklich störend beeinflusst, wie das schon von früheren Forschern beobachtet wurde. Zur Herstellung der Normallösungen wurde Natriumkarbonat, aus Natrium bicarbonicum „Kahlbaum“ pro analysi, Schering-Kahlbaum, hergestellt, als Urtitersubstanz gebraucht. Sämtliche Reagenzien wurden aus Chemikalien ersten Grades der Reinheit bereitet und bei der Aufbewahrung vor jeder möglichen Verunreinigung geschützt. Ich habe nicht versäumt, eine genügende Anzahl von Kontrollproben mit Reagenzien allein, ohne Zusatz von Material, anzustellen. Die Gerätschaften waren aus Pyrex oder Jenaer Glas und wurden vor dem Gebrauch vorschriftsmässig gereinigt und ausgelaugt. Kurzum, alle Vorsichtsmassregeln der Mikroelementaranalyse wurden aufs strengste getroffen.

Das Gesamtverfahren ist kurz, wie folgt:

Eine 1 bis 6 mg C entsprechende Menge eiweissfreien Filtrats des Muskelbreis wird mit einer Vollpipette in den Oxydationskolben gebracht, wobei achtgegeben wird, dass die über die Flüssigkeit herausragende Kolbenwandung möglichst unbeschmutzt bleibt. Der Kolben wird ruhig in senkrechter Stellung in einen Vakuumexsikkator mit Schwefelsäure gebracht und vorsichtig evakuiert, ohne dass dabei Flüssigkeit hochspritzt. Der Kolbeninhalt trocknet in der Regel innerhalb eines Tages vollkommen. Dann verbindet man den Kolben mit dem Verbrennungsröhr und prüft die Luftdichtheit des Apparats.

Ist die Einrichtung in Ordnung, so leitet man getrockneten, CO_2 -freien Sauerstoff mit einer Geschwindigkeit von 8 ccm pro Minute etwa 10 Minuten lang durch, um die Luft im Apparat durch reinen Sauerstoff zu ersetzen. Darauf fängt man an, das Verbrennungsrohr zu erhitzen und verringert gleichzeitig die Sauerstoffzufuhr. Man giesst ins Absorptionsgefäß doppelt so viel 0,1 n, 1% Bariumchlorid enthaltendes Barytwasser, wie es der durch Verbrennung des Materials entstehenden Kohlensäure entspricht. Nun werden dem Barytwasser einige Tropfen Alkohol-Phenolphthaleinmischung zugesetzt. Dann werden 8 ccm Oxydationsmittel in den Kolben eingeführt, indem man den Sauerstoffstrom für einen Augenblick unterbricht, und der Kolben wird im Ölbad unter Zuleitung reinen Sauerstoffs, 3 ccm pro Minute, erhitzt. Nun beginnt das Material lebhaft zu oxydieren. Die Stärke der Erhitzung und der Sauerstoffzufuhr werden genau reguliert, wobei man als Kriterium die Blasenzahl und das Aussehen des Barytwassers benutzt. Die Temperatur des Ölbad es wird auf 130° – 135° gehalten und die Geschwindigkeit des Sauerstoffstroms zwischen 3 und 6 ccm pro Minute. Das Barytwasser beginnt sich gewöhnlich ungefähr 10 Minuten nach Zusatz des Oxydationsmittels zu trüben und ist 30 Minuten später so getrübt, dass der Gasverteiler kaum noch zu sehen ist. Die Oxydation ist gewöhnlich in 60 Minuten vollendet, darauf folgt die Titration der Absorptionsflüssigkeit mit 3% Bariumchlorid enthaltender 0,05 n Salzsäure. Die ganze Operation dauert etwa anderthalb Stunden.

Dass diese Methode zuverlässige Resultate liefert, zeigen die folgenden Bestimmungen mit Glykokoll. 0,6659 g Glycokoll, Merck, wurden in 100 ccm Wasser aufgelöst. Die Lösung enthielt nach wiederholt ausgeführtem Halbmikrokjeldahl 0,1239 g Stickstoff pro 100 ccm, entsprechend 0,6643% Glykokoll. Die Menge des Kohlenstoffs in drei Proben von je 2,0 ccm dieser Lösung wurde in der oben beschriebenen Weise bestimmt. Dabei ergab sich: 31,96%, 31,71% und 31,68% C. Der Kohlenstoffgehalt des Glykokolls beträgt 31,98%.

Bestimmung des Reststickstoffs. Die Menge des Stickstoffs wurde durch Halbmikrokjeldahl ermittelt.

Ergebnisse und Besprechung.

Versuchsreihe I.

Diese Reihe besteht aus Versuchen an drei Kaninchenleichen bei Zimmertemperatur, die von Mitte September bis Anfang Oktober ausgeführt wurden. Die Temperatur schwankte in den ersten drei Tagen zwischen $16,5^{\circ}$ und $20,5^{\circ}$, vom vierten Tag bis zum Ende der ersten Woche zwischen 15° und 19° , und in der zweiten Woche zwischen 15° und 18° . Die erhaltenen Resultate zeigt Tabelle I.

Tabelle I.
Erste Versuchsreihe.

	Zeit nach dem Tod			
	Sofort bearbeitet	3 Tagen	1 Woche	2 Wochen
Kaninchen Nr. 1. ♂ Körpergewicht 2400 g.				
Rest-C (mg %)	563,1	710,3	1280,6	1511,1
Rest-N (mg %)	311,5	376,2	672,0	700,0
Kaninchen Nr. 2. ♂ Körpergewicht 2100 g.				
Rest-C (mg %)	574,5	725,8	1338,9	1564,6
Rest-N (mg %)	323,4	386,5	684,0	773,1
Kaninchen Nr. 3. ♂ Körpergewicht 2100 g.				
Rest-C (mg %)	534,6	661,5	1143,8	1530,5
Rest-N (mg %)	309,7	369,2	626,5	765,4

Anmerkungen. Leichenbefund: Am 4. Tage schwacher Geruch, leichte Bauchauftreibung, starke Kornealtrübung, Haare leicht abziehbar; am Ende der 1. Woche starker Geruch, Haarausfall beim Berühren, Muskel matt, weich und morsch; am Ende der 2. Woche Fäulniszeichen deutlicher.

Versuchsreihe II.

Diese Reihe besteht aus Versuchen an drei Kaninchenleichen bei Zimmertemperatur, die von Mitte Oktober bis Anfang November angestellt wurden. Die Temperatur schwankte in den ersten drei Ta-

Tabelle II.
Zweite Versuchsreihe.

	Zeit nach dem Tod					
	Sofort bearbeitet	3 Tagen	1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen
Kaninchen Nr. 4. ♂ Körpergewicht 2380 g.						
Rest-C (mg %)	483,3	556,8	643,1	837,5	1004,4	1104,2
Rest-N (mg %)	267,4	294,0	335,1	438,0	528,4	558,6
Kaninchen Nr. 5. ♂ Körpergewicht 2200 g.						
Rest-C (mg %)	473,2	555,7	658,2	886,2	1096,5	1214,1
Rest-N (mg %)	262,5	290,3	343,0	458,5	573,0	619,5
Kaninchen Nr. 6. ♀ Körpergewicht 2080 g.						
Rest-C (mg %)	446,7	512,3	625,4	891,4	1112,7	1266,3
Rest-N (mg %)	252,0	273,0	330,8	469,0	580,6	654,5

Anmerkungen. Leichenbefund: Am 4. Tage Totenstarre noch wahrnehmbar, Kornea leicht getrübt; am Ende der 1. Woche schwacher Geruch, leichte Bauchauftreibung; am Ende der 2. Woche starker Geruch, Haare leicht abziehbar; am Ende der 3. Woche stärkerer Geruch, Muskel matt, weich und morsch; am Ende der 4. Woche Haarausfall beim Berühren.

gen zwischen 14° und $16,5^{\circ}$, vom vierten Tag bis zum Ende der ersten Woche zwischen 12° und 15° , in der zweiten Woche zwischen 10° und $13,5^{\circ}$, in der dritten Woche zwischen $8,5^{\circ}$ und $10,5^{\circ}$, und in der vierten Woche zwischen 9° und 12° . Die erhaltenen Resultate gibt Tabelle II wieder.

Versuchsreihe III.

In dieser Reihe wurde die Kaninchenleiche in den Brutschrank bei 25° gelegt und ihre Muskelproben in bestimmten Zeitabständen entnommen. Tabelle III enthält die Resultate.

Tabelle III.
Dritte Versuchsreihe.

	Zeit nach dem Tod			
	Sofort bearbeitet	3 Tagen	1 Woche	2 Wochen
Kaninchen Nr. 7. ♂ Körpergewicht 2360 g.				
Rest-C (mg %)	567,0	1167,4	2180,2	2074,8
Rest-N (mg %)	297,2	602,7	921,2	898,5

Anmerkungen. Leichenbefund: Am 4. Tage ziemlich deutlicher Übelgeruch, Haar- ausfall beim Berühren, Subkutan- und Muskelgewebe etwas emphysematisch; am Ende der 1. Woche starker Geruch; am Ende der 2. Woche stechender Geruch, Muskel etwas verdünnt. Autopsie: Eingeweide sehr schlaff und weich, Bauchorganen in eine dunkelblau verfärbte Masse zusammengeschmolzen.

Wie man aus obigen Tabellen ersieht, sind die für den Reststickstoffgehalt des frischen Muskels gefundenen Werte ebenso wie die von früheren Autoren angegebenen. Sie betragen nämlich von 252 mg bis 323,4 mg pro 100 g Gewebe.

Hingegen liegen die Werte für die Kaninchen der zweiten Reihe sämtlich niedriger als die der ersten Reihe; jene betragen 252,0 mg bis 267,4 mg gegenüber 309,7 mg bis 323,4 mg für diese. Demgegenüber zeigen die Tiere der einzelnen Reihen weit geringere individuelle Schwankungen. Der grosse Unterschied zwischen der beiden Gruppen von Tieren steht vielleicht mit den Unterschieden der Rasse, der Züchtung usw. in Zusammenhang.

Der Restkohlenstoff verhielt sich ebenso wie der Reststickstoff. Die Werte für die erste Reihe schwanken zwischen 534,6 mg und 574,5 mg, mit einem Durchschnitt von 557,4 mg, und die für die zweite zwischen 446,7 mg und 483,3 mg, mit einem Durchschnitt von 467,7 mg, pro 100 g frischen Muskels. Der Mittelwert für sämtliche un-

tersuchten Tiere beträgt 520,3 mg pro 100 g frischen Muskels. Es ist bemerkenswert, dass sich ein deutlicher Parallelismus zwischen dem Restkohlenstoff- und Reststickstoffgehalt zeigte.

Was den alten Muskel betrifft, so nahmen die beiden Werte mit dem Fortschreiten der Autolyse und der Fäulnis nach und nach zu. Der Reststickstoff stieg in der ersten Versuchsreihe in 2 Wochen im Mittel auf 746,2 mg, in der zweiten Reihe in 4 Wochen im Mittel auf 618,7 mg und in der dritten Reihe in einer Woche auf 898,5 mg. In diesen Zeiten stieg der Mittelwert des Restkohlenstoffs in der ersten Reihe auf 1535,4 mg, in der zweiten Reihe auf 1194,9 mg und in der dritten Reihe auf 2180,2 mg.

Die Resultate der einzelnen Versuche in ein und derselben Versuchsreihe stimmen auch hier gut überein, während zwischen den verschiedenen Reihen ziemlich beträchtliche Unterschiede bestehen. Diese letzten hängen mehr von den Temperaturunterschieden als von individuellen Schwankungen ab. Die Versuchsreihe I und II wurden bei Zimmertemperatur, und zwar zu einer immer kühler werdenden Zeit des Jahres, untersucht. So lag die Temperatur für die zweite Reihe ungefähr 5° niedriger als für die erste, was freilich die Geschwindigkeit der chemischen Vorgänge merklich beeinflussen muss. Schon nach dreitägigem Stehenlassen erreichte Werte der Versuchsreihe I wurden in Versuchsreihe II erst nach einer Woche erhalten und solche nach einer Woche in jener erst nach 4 Wochen in dieser.

Solch starke Abhängigkeit der Resultate von der Temperatur scheint zu beweisen, dass die Restwerte zur Todeszeitbestimmung nicht passen, aber in Wirklichkeit ist dem nicht so. Betrachtet man die Ergebnisse genauer, so kann man ihnen was Gesetzmässiges finden. Sämtliche zu gleicher Zeit untersuchten Kaninchenleichen zeigten ohne Ausnahme gut übereinstimmende Veränderungen. Das Zunahmeverhältnis der Restkohlenstoff- und Reststickstoffwerte bleibt in allen Versuchen weitgehend parallel, wie man auf halblogarithmischen Kurven in Fig. 2. ersieht, welche Mittelwerte für beide Reststoffe der Kaninchen in der Versuchsreihe II zeigen. So scheint der postmortale Zerfall des Muskelgewebes so vor sich zu gehen, als ob es ausschliesslich aus Eiweiss bestände.

Die Veränderungen vollziehen sich je nach der Temperatur schnell oder langsam. Aber in allen Fällen scheint die Zunahme der beiden Restwerte ein Maximum zu zeigen. Das zeigt sich deutlich beim Versuch 7, bei dem die Temperatur dauernd auf 25° gehalten wurde. Beide Restwerte waren am Ende einer Woche ungefähr 3,5 mal so

Fig. 2.

gross wie im Anfang und die nach zwei Wochen etwas niedriger; ihr Höhepunkt liegt auf der Grenze zwischen der ersten und der zweiten Woche. Die Werte nach zwei bzw. vier Wochen in Versuchsreihe I und II betragen etwas weniger als das Dreifache der entsprechenden Anfangswerte. Dass sie in der Nähe des Maximums liegen, erkennt man daraus, dass sich die Kurven beider Versuchsreihen gegen Ende deutlich abflachen.

Bei uns bleibt nun aber die Temperatur bloss eine kurze Zeit im Jahr gleichmässig. In der gerichtlich-medizinischen Praxis muss man jedoch gewöhnlich darauf gefasst sein, mit Material zu arbeiten, das einer von Tag zu Tag ab- oder aufsteigenden Temperatur ausgesetzt ist. In der Jahreszeit mit sinkender Temperatur, wie in vorliegender Untersuchung, verlängert und flacht sich die Kurve der beiden Restwerte ab, und in der mit steigender Temperatur ist es grade umgekehrt.

In allen Fällen vergrössern sich beide Restwerte fortwährend, einerlei ob die Temperatur allmählich steigt oder sinkt. Besonders stark nimmt der Restkohlenstoff zu. Er liegt stets in allen Stadien des Gewebeerfalls doppelt so hoch wie der Reststickstoff. Folglich eignet sich der Restkohlenstoff als Massstab zur Todeszeitbestimmung viel besser als der Reststickstoff in Fällen, in denen man, wie gewöhnlich, nur einen der beiden Werte zu diesem Zweck benutzen

will. Denn dabei werden die Skalenteile ums doppelte vergrössert, und deshalb kann man feinere und zuverlässigere Messungen erzielen.

Die Todeszeitbestimmung auf Grund eines einzigen Anhaltspunkts ist aber immer durch individuelle Schwankungen groben Fehlern ausgesetzt. Aber mit der „stereometrischen Schätzung“ wie in vorliegender Arbeit, d. h. durch Anwendung von zwei Werten, dem Restkohlenstoff und -stickstoff, wird die Bestimmung viel sicherer. Jeder dieser Werte lässt sich durch den anderen prüfen, und so können beide zusammen die Todeszeit verhältnismässig richtig angeben. Noch sicherer arbeitet das Verhältnis des Restkohlenstoffs zum Reststickstoff und der Differenz zwischen beiden Werten.

Diese Differenz zwischen beiden Restwerten steigt mit der Zeit geradlinig, wie man aus Tabelle IV ersieht. Abgesehen von frischen Muskel, haben ihre Ziffern merkwürdigerweise dieselbe Grössenordnung wie die des Reststickstoffs. Der verhältnismässig grosse Reichtum des frischen Muskels an Reststickstoff, im Vergleich zum Restkohlenstoff, rührt wahrscheinlich von dem nach dem Tod schnell anwachsenden Ammoniakgehalt her. Der Restkohlenstoff nimmt aber in kurzer Zeit merklich zu, was vielleicht auf den beginnenden Eiweisszerfall oder den Abbau stickstofffreier Substanzen hinweist.

Tabelle IV.

Differenz zwischen Rest-C und -N.

Kaninchen Nummer	Zeit nach dem Tod					
	Sofort bearbeitet	3 Tagen	1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen
1	251,6	334,1	608,6	811,1		
2	251,1	339,3	654,9	791,5		
3	224,9	292,3	517,3	765,1		
im Mittel	242,5	321,9	593,6	789,2		
4	215,9	262,8	308,0	399,5	476,0	545,6
5	210,7	265,4	315,2	427,7	523,5	594,6
6	194,7	239,3	294,6	422,4	532,1	611,8
im Mittel	207,1	255,8	305,9	416,5	510,5	584,0
7	269,8	564,7	1259,0	1176,3		

Tabelle V enthält das Verhältnis des Restkohlenstoffs zum Reststickstoff. Es unterliegt auffallend geringeren individuellen Schwankungen als alle anderen Werte. Die grösste Abweichung beim frischen Muskel beträgt 0,18, entsprechend 10,4% des kleinsten Wertes,

Tabelle V.
Verhältnis $\frac{\text{Rest-C}}{\text{Rest-N}}$

Kaninchen Nummer	Zeit nach dem Tod					
	Sofort bearbeitet	3 Tagen	1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen
1	1,81	1,89	1,91	2,16		
2	1,78	1,88	1,96	2,02		
3	1,73	1,79	1,83	2,00		
im Mittel	1,77	1,85	1,90	2,06		
4	1,81	1,89	1,92	1,91	1,90	1,98
5	1,80	1,91	1,92	1,93	1,91	1,96
6	1,77	1,88	1,89	1,90	1,92	1,94
im Mittel	1,79	1,89	1,91	1,91	1,91	1,96
7	1,91	1,94	2,37	2,31		

bei Kaninchen Nr. 3, die für Reststickstoff 28,3% und die für Restkohlenstoff 28,6%. Nach dem Tod steigt diese Verhältniszahl mit fortschreitendem Zerfall des Muskelgewebes ziemlich regelmässig. Ihre Veränderung spiegelt sogar deutlich den fortschreitenden Gewebeerfall wieder. In Versuch 7 stieg sie steil auf und zeigte nach einer Woche ihr Maximum, und in Versuchsreihe II, in welcher die Zersetzung wegen der niedrigen Temperatur und ihres ziemlich schnellen Abklingens mit beinahe konstanter Geschwindigkeit ohne jede Beschleunigung vor sich ging, blieb sie bis zum letzten Stadium praktisch unverändert.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass man in der gleichzeitigen Bestimmung des Restkohlenstoffs und des Reststickstoffs ein Mittel zur Ausarbeitung einer brauchbaren Methode der Todeszeitbestimmung besitzt. Dabei geht man vielleicht am besten so vor, auf Grund der beiden Restwerte oder der Differenz zwischen ihnen zuerst ein ungefähres Bild zu gewinnen und darauf die Bestimmung mit Hilfe des Verhältnisses des Restkohlenstoffs zum Reststickstoff zu verfeinern. Selbstverständlich muss man dabei die Temperaturverhältnisse berücksichtigen. Dafür muss man zuerst genügend Zahlenmaterial für den Menschenmuskel sammeln, um einen Standardwert festzusetzen. Damit bin ich mich beschäftigt.

Zusammenfassung.

1. Ausser dem Reststickstoff wurden der Restkohlenstoffgehalt

des Muskels und seine postmortalen Veränderungen zum ersten Male bestimmt.

2. Der Restkohlenstoff wurde nach Enteiweissung mit Wolframat durch eine Modifikation des Lieb-Krainickschen Verfahrens ermittelt und der Reststickstoff wie üblich durch Halbmikrokjeldahl.

3. Der Restkohlenstoffgehalt des Extremitätenmuskels des Kaninchens liegt zwischen 446,7 mg und 574,5 mg pro 100 g frischen Gewebes.

4. Der Reststickstoffgehalt des frischen Muskels beträgt von 252 bis 323,4 mg pro 100 g frischen Gewebes.

5. Nach dem Tod des Muskels nahm der Restkohlenstoff, ebenso wie der Reststickstoff nach und nach zu. Beide Restwerte nehmen mit gleichem Zunahmeverhältnis zu.

6. Zur Todeszeitbestimmung ist es zweckmässig, die beiden Werte zusammen als Massstab zu benutzen. Durch Verwendung des Verhältnisses des Restkohlenstoffs zum Reststickstoff sowie der Differenz zwischen beiden Werten kann man die von individuellen Schwankungen herrührenden Fehler bedeutend verkleinern. Die individuellen Schwankungen des Verhältnisses zwischen beiden Werten sind sehr gering.