

Aus dem Pathologischen Institut des Allgemeinen Krankenhauses Barmbek  
in Wandsbek, Hamburg (ehem. Leiter: Prof. Dr. SIEGFRIED GRÄFF).

## Zur Theorie der fixierten Extremitätenversetzung bei Hitzeschrumpfleichen.

Von

Dr. med. HANS-JOACHIM KLAPPROTH.

Zu den häufigen Befunden bei Brandleichen gehören die Veränderungen, die zu den Benennungen: Fechter-, Ringkämpfer-, Boxer-, Gladiatorenstellung und Stellung à la vache geführt haben. Alle diese postmortal einsetzenden Verkrümmungen des Körpers, besonders im Bereich der Extremitäten, sind seit langem wohlbekannt (FR. MAYER, GÜNSBERG, MASCHKA), vielfach beschrieben (ZILLNER, PUPPE, MERKEL u. a.) und werden auf verschiedenartige Einwirkungen der Hitze auf die Muskeln der Extremitäten zurückgeführt.

GRÄFF hat auf Grund eigener Beobachtungen im Bombenbrandgeschehen des 2. Weltkrieges einige weitere, bis dahin offenbar unbekannte Formen solcher postmortalen Stellungsanomalien mitteilen und in Abbildungen wiedergeben können. Die Befunde waren nur in sehr wenigen Fällen und in verschiedener Stärke zu erheben und ihren Besonderheiten nach sehr eigenartig und außergewöhnlich. GRÄFF (persönliche Mitteilung) schlug vor, diese als „fixierte Extremitätenversetzung“ zu bezeichnen.

Bei dem ersten von GRÄFF beschriebenen Fall handelt es sich um die Leiche eines 30—50jährigen Mannes, eine *Bombenbrandschrumpfleiche*. Neben den für diese Leichen typischen Veränderungen konnte GRÄFF am linken Arm und rechten Bein zwei äußerst merkwürdige Befunde erheben: Die Hand sitzt keineswegs regelrecht, sondern ist um etwa  $\frac{2}{5}$  der Unterarmlänge gegen das Ellenbogengelenk hin verschoben und an der Beugeseite mit den Handwurzelknochen an den Unterarmknochen im rechten Winkel fixiert. Die Finger befinden sich in Beugestellung. Die distalen Enden von Radius und Ulna liegen als von verkohltem Gewebe umschlossene Stümpfe frei, während die Weichteile des übrigen Arms, von teilweise verkohelter Haut umscheidet, als mürbe und bröckelige Masse noch vorhanden sind. Eine Röntgenaufnahme zeigt das teilweise zerstörte Skelet der Hand in beschriebenem Abstande vom Ellenbogengelenk an den in ganzer Länge erhaltenen Unterarmknochen fixiert.

Nahezu gleiche Veränderungen bietet das *rechte Bein*. Der Fuß ist aus dem oberen Sprunggelenk gelöst und sitzt — um etwa  $\frac{2}{5}$  der Unterschenkellänge gegen das Kniegelenk hin verschoben — an der Beugeseite des Unterschenkels als unformiger, harter Klumpen. Im Röntgenbild erkennt man das mit der plantaren Fläche kranialwärts gerichtete Fußskelet an der Beugeseite der Unterschenkelknochen in beschriebenem Abstande vom Kniegelenk fixiert, wobei zwischen Talus und Os naviculare eine starke Diskontinuität zu beobachten ist, während sowohl die Knochen des Vorfußes als auch Talus und Calcaneus die regelrechte Anordnung erkennen lassen.

Nicht so ausgeprägte, aber doch über die extreme Flexionsstellung hinausgehende Veränderungen finden sich bei der zweiten von GRÄFF mitgeteilten Beobachtung:

Es handelt sich um die *linke obere Extremität* einer weiblichen Hitzeschrumpfleiche (Bombenbrandschrumpfleiche). Aus der Beschreibung des Befundes geht hervor, daß die Hand ungewöhnlich stark flektiert und augenscheinlich in den Handwurzelgelenken mehrfach subluxiert bzw. luxiert ist. Der Radius liegt, zum Teil der Weichteile beraubt, frei und besitzt offenbar keinen Zusammenhang mehr mit den Handwurzelknochen. Röntgenologisch finden sich neben der Flexion der Hand im Handgelenk und der Finger in den Gelenken zwischen Grund- und Mittelphalanx eine Subluxation der proximalen Handwurzelknochen nach der Beugeseite, eine Luxation der Metacarpalia I—V ulnar- bzw. radialwärts sowie stärkere Subluxationen in den Gelenken zwischen Metacarpale IV und V und den entsprechenden Grundphalangen. Die Weichteile von Mittelhand und Handwurzel überbrücken den zwischen Unterarm und Hand entstandenen Winkel.

Die beim ersten Anblick schwer zu deutenden Versetzungen proximal fixierter peripherer Extremitätenteile erforderten aus der einmaligen Beobachtung heraus eine zweifellos verwinkelte Deutung des Wirkungsmechanismus.

GRÄFF nahm an, daß es sich auf jeden Fall um postmortale Erscheinungen handelt. Nach seiner Ansicht erscheint die proximale Retraktion peripherer Knochen verständlich, wenn man sie als Wirkung *hitzeschrumpfender Sehnen* auffaßt, mit einer Kraft, die die bereits eingetrockneten Kapseln der Gelenke zum Bruch bringt. Entscheidend sei, daß es sich nicht um einen einzeitigen, sondern in verschiedenen Phasen ablaufenden Vorgang handle, wobei die Hitze stets dort zur Auswirkung komme, wo sie am ehesten und schnellsten Zugang zum Gewebe findet.

Die Sicherheit der Deutung war allerdings beeinträchtigt durch die Seltenheit der Beobachtungen an sich und den Mangel an ausreichenden Unterlagen des Schrifttums, von denen aus der Wirkungsmechanismus der Gewebe, insbesondere der für das Zustandekommen der Extremitätenversetzung verantwortlichen Sehnen, verständlich gemacht werden konnte.

Anlässlich einer Demonstration von Herrn Prof. JACOB<sup>1</sup> bei einer Zusammenkunft der pathologischen Anatomen Groß-Hamburgs zeigte dieser in anderem Zusammenhange das Bild eines 47 Jahre alten Mannes, der bei einem Garagenbrand ad exitum gekommen war. Dieses Bild zeigte nun sehr ähnliche Besonderheiten, wie sie GRÄFF für seine Fälle beschrieben hat. Man erkennt nämlich neben starken allgemeinen Weichteilverkohlungen und -verlusten eine *im Handgelenk völlig luxierte Hand der linken Extremität*. Die distalen Enden von Radius und Ulna liegen frei, die Hand sitzt in starker Flexionsstellung mehrere Zentimeter ober-

<sup>1</sup> Herrn Prof. Dr. FRITZ, Direktor des Gerichtsmedizinischen Instituts der Universität Hamburg, sowie Herrn Privatdozent Dr. DOTZAUER danke ich verbindlichst für die freundliche Unterstützung, insbesondere durch Überlassung des Bildmaterials.

halb der distalen Enden der Unterarmknochen und ist an der Beugeseite des Unterarms fixiert. Das stark gewinkelte Ellenbogengelenk liegt, vom geschrumpften Muskelschlauch der Ober- und Unterarmmuskulatur entblößt, frei.

Auf Grund dieses Befundes kann man annehmen, daß der von GRÄFF erstmalig beschriebene Zustand der Versetzung von Extremitätenteilen und ihrer proximalen Fixation unter der Einwirkung von Hitze oder offenem Brand nicht so selten zu sein braucht, sondern vielleicht nur infolge scheinbar vordringlicherer Befunde nicht genügend gewürdigt worden ist. Diese Befunde drängen somit — infolge ihrer Häufung um so mehr — zu einer befriedigenden Erklärung ihres Wirkungsmechanismus.

Wenn man von einer Mitteilung von SACHS absieht, der in einem Satz auch die Schrumpfung der Sehnen erwähnt, findet man im Schrifttum als Erklärung für das Zustandekommen der verschiedenen bezeichneten Stellungsanomalien ausschließlich die *Verkürzung der Muskeln* angeführt.

So werden abwechselnd die „Hitzestarre der Muskulatur“ (KRATTER, SCHMIDTMANN, PUPPE), die „Verkürzung der Muskulatur durch Austrocknung“ (DETTLING, SCHÖNBERG und SCHWARZ), die „Wärmestarre der Muskulatur“ (MAYER, ZILLNER, FALK, REUTER), die „Retraktion der Muskulatur“ (HABERDA), die „energische Zusammenziehung der Muskeln“ (WESTENHOEFFER) oder die „Schrumpfung der Muskeln“ (MERKEL und WALCHER) angegeben. Die Meinung, daß die Stellungsanomalien eine Folge der Muskelverkürzung durch Hitzeinwirkung („Wärmestarre, Hitzestarre usw.“) seien, schien in den Ergebnissen zweier experimenteller Arbeiten eine Stütze zu haben.

Zur Aufklärung eines Verbrennungstodesfalles verbrannte WESTENHOEFFER eine menschliche Leiche mit einem Leuchtgasgebläse so, daß diese dieselbe Leichenstellung aufwies. Er folgerte daraus, daß diese Stellung „sich aus der Wirkung der Muskeln erklärt, welche sich nur solange zusammenziehen können, als sie hinreichend Flüssigkeit enthalten und ihre contractile Substanz nicht zerstört ist“. „Freilich beruht ein Teil der Zusammenziehung auch auf dem Schrumpfungs-vorgang, den die Gewebe infolge Wasserverlustes erleiden.“ Da er gleichermaßen sämtliche Weichtalgewebe verbrannte, zu denen auch die Sehnen gehören, fehlte seiner Erklärung der Beweis.

Sehr eingehende Versuche unternahm MAYER mit Totgeburten und lebenden und toten Hunden.

Zum Teil verbrannte er die Leichen total, zum Teil partiell. Außerdem erhitzte er sie auch — total oder partiell — in Wasser von verschiedenen Hitzegraden. Wenn er auch überhaupt nicht an die Möglichkeit der Sehnenverkürzung dachte, so kam er doch hinsichtlich der Muskeln zu wertvollen Ergebnissen.

Es gelang ihm zu zeigen, daß für die einfachen Flexionen in den Gelenken wie z. B. bei der Stellung à la vache die *Wärmestarre* der Muskeln als ausreichende Ursache angesehen werden kann. Die Wärmestarre der Muskeln tritt ein, wenn das Muskeleiweiß coaguliert, d. h. bei einer Temperatur von 49—50° C nach KÜHNE, und führt zu einer mäßigen Verkürzung der Muskeln.

Für die darüber hinausgehenden Veränderungen, etwa die bizarren Formen der Fechterstellung — oder sogar die fixierte Extremitätenversetzung, die ihm noch nicht bekannt war — reicht jedoch diese Erklärung nicht aus.

MAYER zog zur Erklärung dieser besonderen Formen die *Muskelschrumpfung* heran. Unter Muskelschrumpfung verstand er die Verkürzung der Muskulatur durch Entzug des Wassers infolge hoher Hitzegrade. Dem stellt sich allerdings die schlechte Wärmeleitfähigkeit der Muskulatur entgegen. „Wie schlecht der Muskel die Wärme leitet, ersieht man aus meinen (MAYER) Experimenten, da selbst bei Einwirkung hoher Hitzegrade, wie + 1500 bis 2000° C, auf die äußere Seite des Oberarmes in einer Tiefe von  $\frac{1}{2}$  cm im Deltoides erst nach 25 min eine Temperatur von + 55° C nachzuweisen war.“ Daraus ergibt sich, daß sehr hohe Hitzegrade und eine sehr lange Zeit erforderlich sind, um wirklich alle, auch die tiefen Muskeln bei mindestens + 100° C durch Wasserentzug schrumpfen zu lassen. MAYER folgert aus seinen Versuchsergebnissen sehr richtig: „Ich glaube, daß die Muskeln, solange sie in ihrer normalen topographischen Lage aneinandergereiht sowohl nebeneinander als auch übereinander sich befinden, niemals in der Art schrumpfen können, daß eine nennenswerte Kürzung derselben eintritt, und zwar aus dem Grunde, weil bei der einseitigen, nur die äußere Fläche betreffenden Hitzebeeinflussung der oberflächlichen Muskulatur und dem schlechten Wärmeleitungsvermögen der Muskeln, wenn überhaupt eine Schrumpfung eintritt, eine solche nur in den oberflächlichsten Schichten eintreten kann, welche Schrumpfung aber nie eine Verkürzung des ganzen Muskels verursacht.“ Und weiter: „Die durch Schrumpfung veranlaßte Verkürzung ganzer Muskelbüüche geschieht erst nach lange dauernder Einwirkung der Verbrennungshitze auf die Körperoberfläche, wo schon überhaupt hochgradige Veränderungen an dem Körper des verbrannten Leichnams eingetreten sind.“

Es besteht also keine einheitliche Auffassung über die Deutung der Muskelwirkung.

Aus der Feststellung, daß bei 50° C die Wärmestarre der Muskulatur eintritt und erst bei sehr langer Einwirkung sehr hoher Hitzegrade die Muskulatur (*in situ!*) schrumpft, erhebt sich von selbst die Frage, ob denn nicht andere Gewebe innerhalb dieses sehr großen Temperaturintervalls schrumpfen und die Stellungsanomalien verständlich machen können. GRÄFF stellt „die Fähigkeit der Muskulatur zu einer irgendwie nennenswerten Kontraktilität besonders deswegen in Frage“, weil bei seinem großen Material an Bombenbrandschrumpfleichen „die geröstete Muskulatur keineswegs den Eindruck einer Kontraktionsstellung erweckte und die Schrumpfung der Sehnen die postmortale Verkrümmung der Leiche ausreichend und befriedigend erklärte“.

Da GRÄFF somit der Hitzeschrumpfung der Sehnen einen großen Einfluß zugeschrieben hat, habe ich mich bemüht, dieser Frage von einer gesicherten experimentellen Grundlage aus näher zu kommen. Dabei stellte ich mir folgende drei Fragen:

1. In welchem Temperaturbereich schrumpfen Sehnen?
2. Wie groß ist die maximale Sehnenverkürzung?
3. Welche Kräfte werden bei diesem Vorgang frei?

Bei der Anordnung der Versuche ging ich von dem Gedanken aus, möglichst gleiche oder doch weitestgehend gleiche Voraussetzungen für das zu untersuchende Material zu schaffen, wie sie bei den Hitzeschrumpfleichen gegeben waren, nämlich trockene, allmählich ansteigende Hitze.

#### *Anordnung.*

In einem unten offenen Glasbehälter wurden die zu untersuchenden Sehnen an einem Galgen hängend so befestigt, daß eine Torsion der Sehnen die Messungen nicht beeinträchtigen konnte. Am unteren Ende der Sehne wurde ein sehr leichtes Gewicht angebracht, um ein Durchkrümmen der Sehne zu verhindern, wie es sich bei den Vorversuchen wiederholt zeigte. Am Gewicht befand sich ein Drahtzeiger, der auf einer an der Seitenwand angebrachten Millimeterskala gleiten konnte. Als Hitzequelle diente eine ebenfalls am Galgen aufgehängte Heizspirale von 750 Watt. Das neben der Sehne angebrachte Thermometer befand sich in gleicher Entfernung von der Heizspirale wie die Sehne. Durch die Glaswände konnten Skala und Thermometer abgelesen werden. Außerdem wurde die Dauer der Hitzeinwirkung vom Beginn bis zum Ende der Schrumpfung, also das Schrumpfungsintervall, mit der Uhr bestimmt.

#### *Versuchsreihe I.*

Es kamen Sehnen zur Verwendung, die bei der Sektion, also 24 bis 36 Std post mortem den Leichen entnommen worden waren.

Es handelte sich ausschließlich um Sehnen des Unterarms. Auf möglichst gleich großen Sehnenquerschnitt wurde geachtet, jedoch wurde er nicht genau gemessen.

Die Ergebnisse sind aus der Tabelle 1 ersichtlich:

*Tabelle 1.*

Nr.	Länge vor in cm	Länge nach in cm	Verkürzung in cm	Verkürzung in %	Dauer der Erhitzung
1	9,0	3,5	5,5	61,1	31
2	13,7	5,8	7,9	57,8	28
3	9,8	3,3	6,5	66,3	20
4	19,1	7,5	11,6	60,5	30
5	21,0	8,9	12,1	57,6	32
6	13,1	5,5	7,6	58,2	25
7	9,5	3,9	5,6	58,9	21
8	11,8	3,9	7,9	66,9	24
9	18,2	6,6	11,6	63,7	30
10	11,5	4,1	7,4	64,0	32

#### *Versuchsreihe II.*

Der Hitzeinwirkung unterlagen Sehnen, die wie die der ersten Reihe bei der Sektion den Leichen entnommen, dann aber bis zu 10 Tagen in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt worden waren. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigt die Tabelle 2.

Tabelle 2.

Nr.	Länge vor in cm	Länge nach in cm	Verkürzung in cm	Verkürzung in %	Dauer der Erhitzung	Tage p. m.
1	19,0	6,8	12,2	64,2	34	6
2	15,8	6,3	9,5	60,1	32	10
3	5,1	2,6	2,5	49,2	26	9
4	7,7	3,2	4,5	58,4	28	10
5	11,8	5,4	6,4	54,0	31	9
6	10,4	4,8	5,6	53,8	26	8
7	14,2	6,4	7,8	55,0	29	6
8	11,4	4,6	6,8	59,4	28	4
9	12,6	5,3	7,3	57,7	30	5
10	15,2	6,7	8,5	55,7	29	5

## Ergebnisse.

## Versuchsreihe I.

Bei gleichmäßig ansteigender trockener Hitze liegt der Beginn der Verkürzung zwischen 50 und 60° C, die Beendigung zwischen 66 und 87° C. Prozentual verkürzen sich die Sehnen um 57,6—66,9%, im Mittel also um 61,5% ihrer ursprünglichen Länge.

Dauer der Erhitzung bis zur maximalen Verkürzung: 20—32 min.

## Versuchsreihe II.

Beginn der Verkürzung zwischen 60 und 71° C, Beendigung zwischen 77 und 92° C. Prozentuale Verkürzung zwischen 49,2 und 64,2%, im Mittel also um 56,7% der ursprünglichen Länge.

Dauer der Erhitzung bis zur maximalen Verkürzung: 26—34 min.

Ein Vergleich beider Versuchsreihen ergibt, daß die Sehnen der zweiten Versuchsreihe erst bei einer um durchschnittlich 10° höheren Temperatur zu schrumpfen beginnen als die der ersten Versuchsreihe. Auch die Beendigung des Schrumpfungsvorganges liegt bei der zweiten Reihe bis zu 11° höher als bei der ersten Reihe.

Erwähnenswert erscheinen mir folgende Beobachtungen: Die Schnelligkeit der Sehnenverkürzung nimmt mit der Temperaturerhöhung zu. Mit zunehmender Erhitzung geht die Farbe der Sehnen von weiß in glasig-gelb, braun und schwarzbraun über. Maximal geschrumpfte Sehnen sind, solange sie heiß sind, fest, schwer schneidbar, wenig elastisch und vor allem sehr klebrig (Kollagen). Mit der Abkühlung verliert sich besonders die letztgenannte Eigenschaft, die Sehne wird trocken, hart und unbiegsam.

In der Literatur findet man ähnliche Untersuchungsergebnisse bei LERCH. Nach seinen Angaben schrumpfen im Wasserbad erhitze Sehnen vom Rind um maximal 46%. Das Verkürzungsintervall liegt zwischen 60 und 88° C. Es stimmt in etwa mit meinen Ergebnissen überein. Die Differenz der Ergebnisse der maximalen Verkürzung führe ich auf die verschiedene Anordnung der Versuche zurück. LERCH

erhitzte die Sehnen im Wasserbad. Damit läßt sich die Möglichkeit der Quellung der erhitzten Sehne nicht ausschließen, das heißt, das kollagene Gewebe enthält in seiner Struktur Wasser. Der Schrumpfungsprozeß kann also wahrscheinlich nicht so zu Ende ablaufen wie bei trockener Erhitzung, bei der dem kollagenen Gewebe das Wasser völlig entzogen wird.

Die Sehnenverkürzungsintervalle schwanken recht erheblich, wenn man die Ergebnisse anderer Autoren vergleichsweise betrachtet. So liegt das Intervall bei ROLLET zwischen 60 und  $70^{\circ}$  C, bei HERMANN zwischen 65 und  $75^{\circ}$  C, bei WÖHLISCH und DU MESNIL zwischen 58 und  $75^{\circ}$  C und bei EWALD zwischen 63 und  $70^{\circ}$  C. (Diese Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf Versuche, bei denen Sehnen im Wasserbad erhitzt wurden.)

Nach Ermittlung der maximalen Verkürzung hitzeschrumpfender Sehnen ist nun die Frage zu beantworten, wie groß die Kräfte dieser schrumpfenden Sehnen sind. In der Literatur findet man allein bei WÖHLISCH und DU MESNIL Angaben über die „Kraft der thermischen Sehnenkontraktion“, die definiert wird als „eine mit der Temperatur ansteigende Funktion, die  $30 \text{ kg/cm}^2$  erreichen kann“. Die Autoren beziehen die Kraft auf den Quotienten Belastung (Gewicht) je Flächeneinheit (Sehnenquerschnitt).

#### *Versuchsanordnung.*

Die zu untersuchenden Sehnen wurden in einem Eisenrohr von 30 mm Durchmesser und 12 cm Länge freischwebend aufgehängt und mit Gewichten belastet. Das Rohr wurde von außen mit einem Bunsenbrenner erhitzt. Vor und nach der Erhitzung wurde die Sehnenlänge gemessen. Insgesamt wurden 40 Sehnen von 10 cm Länge (Unterarmsehnen) verwendet. Das Gewicht wurde bei jeder Sehne so lange um jeweils 50 g erhöht, bis das Maximum an Belastung erreicht war, unter der die Sehne noch maximal schrumpfte.

#### *Ergebnis.*

1. Bei maximaler Schrumpfung beträgt die Höchstbelastung der stärksten Unterarmsehnen  $3700 \pm 50$  g.
2. Die Kraft der schrumpfenden Sehne ist direkt abhängig vom Sehnenquerschnitt.
3. Die Schnelligkeit der Schrumpfung ist abhängig von der Intensität der Erhitzung.
4. Überbelastete Sehnen schrumpfen nicht, sondern beginnen sich unter der Hitzeeinwirkung zu dehnen, bis sie schließlich reißen.
5. Entlastet man die schrumpfende Sehne plötzlich, so schnurrt sie augenblicklich maximal zusammen.

Berechnet man den Querschnitt der Unterarmsehnen, die bei den Versuchen benutzt wurden, in der Mitte zwischen Ursprung und Ansatz mit durchschnittlich etwa  $12-14 \text{ mm}^2$ , so kommen etwa 8 solcher Sehnen auf  $1 \text{ cm}^2$ . Damit ergibt sich nach den eigenen Versuchsergebnissen eine Kraft von  $29 \text{ kg/cm}^2$ , ein Ergebnis, das praktisch mit dem

von WÖHLISCH und DU MESNIL übereinstimmt, wenn man die Fehlerquellen berücksichtigt, die den Versuchsanordnungen zugeschrieben werden müssen.

Als Antwort auf die drei oben gestellten Fragen fasse ich die Ergebnisse der Versuche zusammen:

1. Die Sehnen schrumpfen in einem Temperaturbereich von 50—87° C.

2. Die maximale Sehnenverkürzung unter ansteigender trockener Erhitzung beträgt durchschnittlich 61,5% der ursprünglichen Sehnennänge.

3. Die dabei freiwerdende Kraft kann bis zu 29 kg/cm<sup>2</sup> betragen.

Es erhebt sich nun die Frage, wie diese Ergebnisse zu den Vorgängen, die zu deuten sind, in Beziehung gesetzt werden können.

Zweifellos ist mit diesen Ergebnissen lediglich die Möglichkeit gegeben, *Teilvorgänge* zu erfassen und verständlich zu machen. Die absoluten Zahlenwerte lassen sich nur bedingt anwenden. Denn wer könnte sagen, wie lang z. B. die Sehne des M. palmaris longus wirklich ist, da sie ja nicht an einem Punkte aus dem Muskel hervorgeht, sondern mit vielen Fibrillen und Fibrillenbündeln aus dem Muskel hervorgehend sich erst allmählich zur Sehne vereinigt. Es dürfte auch schwer fallen, einen für die Bemessung der Kraft absolut gültigen Sehnenquerschnitt zu nennen, da dieser ja an jeder Stelle verschieden groß ist. Trotz alledem darf man, glaube ich, wenigstens einen Überschlag wagen:

Bei einer Unterarmlänge von 28 cm (Länge der Ulna) und einer etwa 16 cm langen Sehne des M. palmaris longus würde eine aus dem Handgelenk gesprengte Hand infolge der Sehnenschrumpfung um maximal etwa 9 cm proximalwärts versetzt werden, also etwa um  $\frac{1}{3}$  der Unterarmlänge. Das würde den oben beschriebenen Befunden entsprechen, bei denen die Versetzung der Hand maximal etwa  $\frac{2}{5}$  der Unterarmlänge betrug.

Um einen Überblick über die wirksam werdenden Kräfte zu gewinnen, nehme ich den Gesamtquerschnitt der Sehnen der Flexorengruppe mit etwa 70—90 mm<sup>2</sup> an. Daraus ergäbe sich beim Schrumpfungsprozeß eine Kraftentwicklung von 20—26 kg im Bereich der Flexorengruppe.

Die Sehnenverkürzung und die dabei freiwerdenden Kräfte stellen allerdings nur Teilstufen in dem komplexen Geschehen dar, welches zu jenen merkwürdigen Endzuständen führt, die durch Versetzung von Extremitätenteilen und ihrer Fixation an anderer Stelle gekennzeichnet sind. Wir wissen, daß diese beiden Teilstufen Funktionen der Temperatur sind, und haben also die Temperatur bzw. ihre Wirkungsweise in den Mittelpunkt der Betrachtung des komplexen Vorganges zu stellen.

Die beispielsweise in einem abgeschlossenen Kellerraum bei einem Hausbrand sich entwickelnde Hitze ist zweifellos nicht an jeder Stelle in diesem Raum gleich, da ja sonst gleichartiges Material in diesem Raum den gleichen Grad der Verbrennung zeigen müßte. Die Intensität der Hitzeeinwirkung auf einen menschlichen Körper in einem solchen Raum ist vielmehr abhängig von der Lage des Körpers zum Hitzeherd, zum Erdboden oder einer Wand, und von der Bekleidung

des Körpers. Für den ganz speziellen Vorgang der beschriebenen abnormalen Veränderungen der Extremitäten spielt der Zugang der Hitze zu den Sehnen eine ganz besondere Rolle. Hier ist die Intensität der einwirkenden Hitze noch zusätzlich abhängig von der Dicke des die Sehnen umscheidenden Gewebes, also der Haut, der subcutanen Fettschicht und der Muskulatur. Bezeichnend dafür ist die Tatsache, daß bei noch nicht völlig verkohlten Leichen die Finger bereits verkohlt sein können, während das weiter proximal gelegene Gewebe des Unterarms nur wie geröstet erscheint.

Die Graduierung der Intensität der Temperatur am Erfolgsorgan, nämlich der Sehne, bedingt nun wiederum einen zeitlich in mehreren Phasen ablaufenden Vorgang, da die Hitze im Raume nicht plötzlich, sondern allmählich ansteigt und demzufolge verschieden stark umscheidete Sehnen zu verschiedenen Zeiten der gleichen Hitzeintensität ausgesetzt sind.

Es soll nun versucht werden, die „fixierte Extremitätenversetzung“ im Sinne der Deutung von GRÄFF verständlich zu machen.

Von der allmählich ansteigenden Hitze im Raume werden zunächst die ungeschützten bzw. am wenigsten geschützten Sehnen der Finger erreicht. Es kommt bei dem größeren Sehnenquerschnitt der Flexoren und dem mechanisch günstigeren Ansatz dieser Sehnen zur Flexion aller Finger.

Den nächsten Angriffspunkt findet die Hitze an den oberflächlichen, später den tieferen Sehnen im Bereich des Handgelenkes und des distalen Viertels des Unterarmes. Unter dem Zuge der schrumpfenden Sehnen der Flexorengruppe wird die Hand in eine immer stärkere Flexionsstellung gezwungen. Bei diesem Vorgang üben die unter dem Ligamentum carpi transversum hindurchziehenden schrumpfenden Sehnen einen starken Zug auf dieses Band aus, indem sie den durch die gewinkelte Hand und den Unterarm gebildeten Winkel wie eine Bogensehne überspannen. Unter dem Zuge und infolge der direkten Hitzeeinwirkung zerreißt dieses Band schließlich. Damit ergibt sich für die Flexoren eine noch bessere Hebelwirkung, die wahrscheinlich dazu beträgt, die inzwischen der direkten Hitzeeinwirkung zugänglich gewordenen kurzen Gelenkbänder der Handwurzel zu sprengen. Man kann sich auch vorstellen, daß diese Gelenkbänder unter der Hitzeinwirkung von selbst zerreißen, da sie nicht wie Sehnen frei schrumpfen können, sondern gegeneinander relativ wenig verschiebbliche knöcherne Anteile des Handgelenkes miteinander verbinden.

Wie bei den oben angeführten Belastungsversuchen beobachtet werden konnte, beginnen überbelastete Sehnen sich unter der Hitzeinwirkung zu dehnen, um schließlich zu reißen. Ähnliche Voraussetzungen dürften letztlich zum Zerreißen der unter stärkstem Zuge stehenden Sehnen der Extensorengruppe führen. Im gleichen Augenblick, in dem die Antagonisten der Flexoren ausfallen, schnurren die Sehnen der

Flexorengruppe zusammen und ziehen die aus dem Handgelenk gelöste Hand an die Beugeseite des Unterarms. Das Ausmaß der Versetzung entspricht der Verkürzung der beteiligten Sehnen.

Die zusammengeschnürten Sehnen der Flexorengruppe bilden ein Konglomerat sehr klebriger Substanz. Erreicht die Hitze Grade, unter denen die Sehnen verkohlen, dann findet man das Bild der Selbstamputation, wie es mehrfach beschrieben worden ist (MERKEL, FALK, WESTENHOEFFER, DETTLING, SCHÖNBERG und SCHWARZ, MUELLER und WALCHER). Sinkt die Temperatur zu der Zeit, zu der die abgesprengte Hand noch durch unverkohlte Sehnen mit dem Unterarm verbunden ist, so bilden die erkaltenden Sehnen eine harte, unverschiebbliche Brücke zwischen der abgesprengten, proximal versetzten Hand und dem Unterarm.

Abschließend kann nun auch die Frage beantwortet werden, ob Sehne oder Muskel im Vordergrunde des Gesamtgeschehens stehen.

1. Die Wärmestarre der Muskulatur tritt ein, wenn die Muskeln selbst eine Temperatur von mindestens  $49-50^{\circ}\text{C}$  erreicht haben. Damit auch die tiefliegenden Muskeln diese Temperatur erreichen, ist eine langdauernde Hitzeeinwirkung nötig. Die Wärmestarre führt nur zu einer mäßigen Verkürzung der Muskeln, die die hochgradigen Veränderungen z. B. der Fechterstellung nicht erklären können.

2. Sehnen verkürzen sich maximal in einem Temperaturbereich von  $50-87^{\circ}\text{C}$ . Sie sind wegen ihrer topographischen Lage der Hitze wesentlich schneller zugängig als die Muskeln. Ihr Querschnitt ist gegenüber dem der Muskeln wesentlich kleiner.

3. Nach MAYER vermögen Muskeln das etwa Zehnfache ihres eigenen Gewichts zu heben. Nach meinen Versuchsergebnissen beträgt die Kraft der schrumpfenden Sehne  $27\text{ kg/cm}^2$ , also ein Vielfaches.

Aus allem geht klar hervor, daß die *Sehnenschrumpfung* zu den Hyperflexionen und Extremitätenversetzungen führen muß, lange bevor die Muskeln überhaupt von den Hitzegraden erfaßt werden, die zu einer nennenswerten Schrumpfung führen. Die weitaus größere Kraftentwicklung der hitzeschrumpfenden Sehnen macht zudem die Vorgänge eher verständlich als die weitaus geringere der hitzeschrumpfenden Muskeln. Die bei langdauernder starker Hitze schließlich einsetzende Schrumpfung der Muskulatur vermag das durch die Sehnenschrumpfung verursachte Bild kaum noch wesentlich zu beeinflussen.

#### *Zusammenfassung.*

1. Es wird ein neuer Fall der Versetzung peripherer Extremitäten- teile mit proximaler Fixation bei Hitzeschrumpfleichen mitgeteilt.
2. Die Deutung dieser Befunde im Sinne GRÄFFS wird durch entsprechende Versuche an Sehnen bestätigt.

3. Sehnenversuche ergeben, daß sich Sehnen unter ansteigender trockener Erhitzung durchschnittlich um maximal 61,5% ihrer ursprünglichen Länge verkürzen. Die Verkürzung beginnt frühestens bei 50° C und endet spätestens bei 87° C. Die dabei freiwerdende Kraft beträgt 29 kg/cm<sup>2</sup>.

4. Beobachtungen bei diesen Versuchen ermöglichen die Beantwortung der bisher noch offenen Frage der proximalen Fixation.

5. Den Sehnen, nicht den Muskeln kommt die entscheidende Bedeutung bei den Vorgängen zu, die zu den fixierten Extremitätenversetzungen führen.

#### Literatur.

DETTLING, J., S. SCHÖNBERG u. F. SCHWARZ: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. Basel: S. Karger 1951. — EWALD, A.: Beiträge zur Kenntnis des Kollagens. Hoppe-Seylers Z. 105 (1919). — FALK: In MASCHKA, Handbuch der gerichtlichen Medizin, Bd. I. Tübingen: Verlag der Lauppschen Buchhandlung 1881. — GRÄFF, S.: Tod im Luftangriff. Hamburg: H. H. Nölke 1948. — GÜNSBERG: Zit. nach MAYER. — HERMANN: Zit. nach WÖHLISCH u. DU MESNIL. — HOFFMANN-HABERDA: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. Berlin: Urban & Schwarzenberg 1927. — JASTROWITZ, M.: Über den Tod durch Verbrennen vom gerichtsärztlichen Standpunkte. Vjschr. gerichtl. Med. 32 (1880). — KRATTER, J.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, Bd. I. Stuttgart: Ferdinand Enke 1921. — KÜHNE: Zit. nach MAYER. — LERCH, H.: Über Wärmeschrumpfungen des Kollagengewebes. Gegenbaurs morph. Jb. 90 (1951). — MASCHKA: Zit. nach MAYER. — MAYER, F.: Über den Einfluß hoher Hitze auf die Stellung von Leichen. Wien u. Leipzig: W. Braumüller 1898. — MERKEL, H.: Diagnostische Feststellungsmöglichkeiten bei verbrannten und verkohlten menschlichen Leichen. Dtsch. Z. gerichtl. Med. 18 (1932). — MERKEL, H., u. K. WALCHER: Gerichtsärztliche Diagnostik und Technik. Leipzig: S. Hirzel 1945. — MUELLER, B., u. K. WALCHER: Gerichtliche und soziale Medizin. München u. Berlin: J. F. Lehmann 1938. — PONSOLD, A.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. Stuttgart: Georg Thieme 1950. — PUPPE: In SCHMIDTMANN, Handbuch der gerichtlichen Medizin, Bd. II. Berlin: August Hirschwald 1907. — REUTER, F.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1933. — ROLLET: Zit. nach WÖHLISCH u. DU MESNIL. — SELIGER, P.: Der Tod durch Verbrennungen vom gerichtsärztlichen Standpunkte. Vjschr. gerichtl. Med. 47 (1887). — WESTENHOEFFER, M.: Der Fall Beckert. Vjschr. gerichtl. Med., III. F. 39 (1910). — WÖHLISCH u. DU MESNIL: Die Thermodynamik der Wärmeumwandlung des Kollagens. Z. Biol. 85 (1927). — ZILLNER, E.: Ein Beitrag zur Lehre von der Verbrennung. Vjschr. gerichtl. Med. 37 (1882).

Dr. med. HANS-JOACHIM KLAPPROTH, Hamburg-Bergedorf, Sachsentor. 31,  
jetzt: Cleveland Clinic, Cleveland Ohio, USA.