

Halskompression und arterielle Obstruktion

B. Brinkmann, E. Koops, F. Wischhusen und M. Kleiber

Institut für Rechtsmedizin der Universität Hamburg, Butenfeld 34, D-2000 Hamburg 54,
Bundesrepublik Deutschland

Compression of the Neck and Arterial Obstruction

Summary. Literature dealing with the obstruction of neck arteries induced by strangulation is referred to. Two types of strangulation are applied to ten human corpses, i.e., hanging and strangulation by ligature. The neck arteries are isolated at their origins from the thoracic vessels. After removal of the brain the arterial openings at the skull base are observed of their flow through. Tap water is perfused through the vessels under four pressures, i.e., 100, 200, 300, and 170 mm Hg. By using strangulation tools of three different diameters, various strangulation experiments are performed under controlled conditions imitating strangulation by ligature as well as atypical hanging. The most relevant results were:

(1) In strangulation by ligature with the rope running horizontally round the neck it is possible to bring about obstruction to the carotid arteries by the same forces as in experimental hanging. Depending on the tool and on the arterial pressure, these forces vary between 2.5 and 10 kg. There are relations between the necessary forces, the diameter of the strangulation tools and the arterial pressures. Even by applying tractive forces in the range between 30-40 kg or by enhancing with a manual draw we did not succeed in bringing about an obstruction of the vertebral arteries. With the rope running obliquely round the neck as it does in typical hanging it is possible by minor tensile forces (between 8 and 17 kg) to obstruct these vessels as well.

(2) In experimental hanging using a typical position of the tool, obstructions of all arteries occur between 5 and 15 kg. In types of hanging with an anterior suspension point above the level of the chin it was possible to occlude at least two vessels by application of intermediate forces.

(3) In strangulation by ligature, the site of the appliance seems to have some influence. Infralaryngeal strangulation need somewhat greater tensile forces than a supralaryngeal course of the rope.

Sonderdruckanfragen an: Prof. B. Brinkmann (Adresse siehe oben)

(4) An additional longitudinal extension of the neck (maximal 80 kg) does not influence the obstruction forces in horizontal strangulation.

Extreme bending of the neck does not impede the free passage of water, whereas with rotation and lateral flexion there could very well result obstructions of the arterial passage of the neck if physiological move of the head is reached or slightly overstepped.

Some individual parameters of the corpses used (neck girth, rigor mortis, arteriosclerosis) did not have any influence on the powers obstructive to the carotid arteries.

Key words: Strangulation – Obstruction of the neck arteries

Zusammenfassung. Die Literatur über die Behinderung der arteriellen Kopfdurchblutung bei Strangulation wird referiert. In eigenen Experimenten werden die isolierten Halsarterien von zehn Leichen unter verschiedenen Drucken perfundiert. Die experimentelle Strangulation erfolgt mit verschiedenen Strangwerkzeugen und in unterschiedlicher Lokalisation. Dabei werden die zum Gefäßverschluß erforderlichen Kräfte bestimmt. Weiterhin werden verschiedene atypische supracervicale Erhängungsformen simuliert und der Einfluß verschiedener Kopfhaltungen untersucht.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

(1) Bei horizontaler Drosselung gelingt es unter Anwendung der gleichen Zugkräfte wie beim Erhängen, die Carotiden zu verschließen. Es bestehen direkte Beziehungen zwischen Strangwerkzeugdurchmesser, intraarteriellem Druck und zum Verschluß erforderlichem Kraftaufwand. Es gelingt auch mit mehr als 40 kg Zugkraft *nicht*, die Vertebralarterien zu verschließen. Bei schräger Drosselung dagegen erfolgt der Verschluß beider Gefäßgruppen mit den gleichen Kräften wie bei typischer Stranglage beim Erhängen.

(2) Bei den Experimenten mit supracervicaler Stranglage gelingt auch bei kleinem oder mittlerem Kraftaufwand der Verschluß zumindest von zwei Gefäßen. Diese experimentellen Ergebnisse entsprechen denen Rauschkes (1957).

(3) Auch eine maximale Halsextension (80 kg) ist ohne Einfluß auf die bei horizontaler Drosselung ermittelten Werte. Extreme Beugung allein ist nicht geeignet, einen Durchblutungsstopp zu verursachen, während bei Rotation und Lateralflexion sehr wohl Behinderungen der arteriellen Kopfdurchblutung bei Überschreiten der physiologischen Kopfhaltung erfolgen.

Individuelle Parameter wie Halsumfang, Arteriosklerose und Leichenstarre sind ohne erkennbaren Einfluß auf die zum Verschluß der Carotiden erforderlichen Kräfte.

Schlüsselwörter: Strangulation – Obstruktion der Halsarterien

Das Thema der strangulationsinduzierten ischämischen Hypoxydosen des zentralen Nervensystems ist seit den richtungsweisenden Feststellungen und Untersuchungen namhafter Rechtsmediziner etwa 100 Jahre alt. Es ist eines jener Gebiete, welchem die deutschsprachige gerichtliche Medizin ihr hohes Ansehen verdankt.

Wenn dennoch mit eigenen experimentellen Untersuchungen dieser Bereich wieder aufgegriffen wird, so glauben wir, dieses wie folgt begründen zu können: (1) Es bestehen nach wie vor „Lücken“ in unserem Wissen um die Beeinflussung der Hämodynamik unter besonderen Bedingungen der Strangulation, (2) die umfangreiche Literatur zu diesem Spezialgebiet ist in neuerer Zeit nicht zusammengefaßt worden, (3) eigene tierexperimentelle Untersuchungen geben Veranlassung, wesentlich höhere arterielle Druckbereiche in der strangulationsinduzierten hyper-tonischen Krise zu unterstellen, als dies bisher geschah.

Bisheriges Schrifttum

Von Hofmann (1876) soll erstmals darauf hingewiesen haben, daß beim Erhängen ein wesentlicher Pathomechanismus im Verschluß der arteriellen Halsgefäße zu sehen sei. Bis dahin hatte man diese Todesart als rein obstruktiv-asphyktisch betrachtet. Haberda u. Reiner (1894) überprüften bei frei suspendierten Leichen die Durchgängigkeit der Halsarterien. Sowohl bei typischer als auch bei retroauriculärer Strangführung waren die Carotiden erst bei Druckwerten zwischen 450 und 500 mm Hg durchgängig, die Vertebralarterien erst ab ca. 300 mm Hg. Lediglich auf der homolateralen Seite war die Vertebralarterie bei retroauriculärer Aufknüpfung schon bei 190–240 mm Hg durchgängig, bei submentaler Aufknüpfung (in einem Fall) eine Vertebralarterie sogar bereits ab 100 mm Hg. Als Verschlußorte ermittelten sie beim Erhängen die Region der Carotisgabel bzw. den Bogen der Vertebralarterien zwischen 1. und 2. Halswirbel. Bei horizontaler Drosselung gelang es mit — offenbar unrealistisch großer — extremer Zugkraft, neben den Carotiden auch die Vertebralarterien zu verschließen. Die Autoren folgerten daraus, daß durch die Kompression der Halsarterien beim Erhängen sofortiger Bewußtseinsverlust eintreten müsse. — Brouardel (1897) überprüfte den Einfluß variabler Zugkräfte bei leider nicht dokumentiertem Gefäßdruck. Er fand bei typischer Stranglage folgende „Verschlußkräfte“ (= Zugkräfte am Strang, welche zum Perfusionsstopp führen): für die Carotiden 5 kg, die Vertebrales 30 kg. — Schwarzacher (1928) ermittelte bei typischer Stranglage und einem Gefäßinnendruck von 170 mm Hg als „Verschlußkräfte“: 3,5 kg für die Carotiden, 16,6 kg für die Vertebrales. — Die pathophysiologische Bedeutung der arteriellen Obstruktion wurde bekanntlich bestätigt durch Mitteilungen über den Erhängungstod Tracheotomierter (Reineboth 1895; Bertelsmann 1903). — Mehrere kasuistische Mitteilungen befaßten sich mit Erhängungsfällen bei abnorm hoher Stranglage (Langermann 1916; Meixner 1919; Keferstein 1915; Rauschke 1957). Meixner fand bei leichenexperimenteller Simulation einer Stranglage zwischen Kinn und Unterlippe die Carotiden verschlossen. — Für Rauschke gab dies Anlaß, in systematischen Leichenuntersuchungen diverse faciale bzw. supracervicale anteriore, dorsale und laterale Aufknüpfungsformen bei einem Gefäßdruck von 170 mm Hg auf die zum Verschluß führenden Zugkräfte zu überprüfen. Je nach Aufknüpfungsform und beobachtetem Gefäß waren Belastungen zwischen 5 und 35 kg erforderlich. Bei einigen Experimenten blieben einzelne, weder im direkten noch im indirekten Kompressionsbereich liegende Gefäße auch noch bei mehr als 35 kg Zugkraft offen. Der Verfasser stellte fest, daß

selbst bei supracervicaler Stranglage mindestens zwei Gefäße des Halses verschlossen werden und sah darin die Ursache für die schnell eintretende Bewußtlosigkeit. Eine indirekte Kompression durch den subluxierten und nach hinten gedrängten Unterkiefer hält er für teilursächlich; ähnliches gilt für eine ausschließlich seitliche Kompression der oberen Halsweichteile. — Unter der Fragestellung des gelegentlichen Zustandekommens einer zentralen Luftembolie beim Tod durch Erhängen überprüfte Scheil (1953) die arteriellen Halsgefäße auf ihre Durchlässigkeit für Luft. Bei freier Suspension wurde der zur Persufflation erforderliche Druck gemessen. Die Carotiden waren bis zu 300 mm Hg immer verschlossen. Die Vertebralarterien wurden bei typischer Stranglage ab 190–250 mm Hg durchgängig, bei auriculärer Aufknüpfung auf der homolateralen Seite bereits ab 140 und 170 mm Hg (je nach Körpergewicht).

Beim *Erdrosseln* wird in der Literatur fast ausnahmslos darauf hingewiesen, daß das Syndrom der venösen Stauung nur selten fehlt (Haberda 1927; Reuter 1922, 1933; Strassmann 1922; Mueller 1975). Über die Ursache besteht nicht vollständige Übereinstimmung. So wird entweder daran gedacht, daß die Vertebralarterien offen bleiben oder daß infolge intermittierender Strangulation in den Phasen der Lockerung arteriell Blut in den Kopfbereich einfließen kann. Gelegentlich wird eine Kombination beider Möglichkeiten angenommen (Haberda 1927; Reuter 1933; Mueller 1975).

Bei hoher Stranglage ohne direkte Kompression der vorderen oder seitlichen Halsweichteile, gelegentlich auch bei homicidaler oder akzidenteller tödlicher Kopfdrehung ohne Strangulation, entsteht die Frage nach dem todesursächlichem Pathomechanismus. Unter Beachtung zweier Fälle von Kindstötung überprüfte Weiss (1937) an toten Neugeborenen die Durchgängigkeit der Carotiden und der oberen Atemwege bei extremer Kopfdrehung. Dabei waren die Atemwege bei Drehwinkeln von 130° praktisch verschlossen, die Carotiden bereits bei etwa 110° nur noch mit Perfusionsdrucken von 95 bzw. 145 mm Hg durchgängig. Da bei Drehung über 90° der Gewebswiderstand erheblich zunimmt, schloß der Verfasser, daß in der Praxis Winkeldrehungen von etwa 110° eher wirksam werden, als solche von 130°. — Unter ähnlicher Fragestellung überprüfte Holzer (1955) nach einem postoperativen Todesfall durch Vertebralisthrombose die Durchgängigkeit beider Vertebralarterien bei verschiedenen Kopfdrehungen und fand diese verschlossen bei Rotationswinkeln zwischen 70 und 85°, gelegentlich bereits bei 45–50° bzw. 60–75°. Es war jeweils das Gefäß auf der der Dreh-/Blickrichtung abgewandten Seite verschlossen, nie das Gefäß auf der homolateralen Seite. Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule wird in dieser Untersuchung ausführlich referiert.

Der *venöse Abfluß* aus dem Kopf-Hals-Bereich läuft über zwei große Drainagewege, welche durch zahlreiche venovenöse Anastomosen miteinander verknüpft sind: Vv. jugulares und Vv. vertebrales. Der Vertebralplexus läßt sich wiederum einteilen in

(a) einen internen Anteil, welcher im Spinalkanal verläuft, in seiner Kapazität begrenzt ist und naturgemäß durch eine Strangulation nicht behindert werden kann und

(b) einen externen Anteil, welcher aus einem dünnwandigen Venenplexus in der Vertebralmuskulatur besteht. Der Querschnitt des Plexus vertebralis externus

ist größer als jener der Jugularvenen. Nach Beobachtungen aus der Kieferchirurgie kommt es bei akuter Unterbindung beider Jugularvenen zu Stauung, Ödem und Cyanose im Gesichtsbereich, bei allmählicher Unterbindung wird der Gesichtsbereich jedoch ausreichend durch Verbindungen zum venösen Vertebralplexus drainiert, so daß diese Komplikationen ausbleiben (Camps u. Hunt 1959). — Der Plexus vertebralis kann unter pathologischen Bedingungen offenbar wichtige Drainagefunktionen für das Gehirn übernehmen. So wurde beobachtet, daß in den Sinus sagittalis superior injiziertes Material bei gleichzeitiger Kompression der Jugularvenen (Strangulation) durch den venösen Plexus vertebralis abfließen konnte. Gius u. Grier (1950), Poirier u. Charpy (1914) führten eine von ihnen beobachtete relative Anämie des Gehirns bei gleichzeitiger Stauung im Hals- und Gesichtsbereich auf diese Drainagefunktion des Vertebralvenenplexus für das Gehirn zurück. — Camps u. Hunt (1959), welche eingehend auch die venösen Abflüsse des Pharynx und des oberen Ösophagus beschreiben, sind der Ansicht, daß die bei der Strangulation häufig zu findenden retralaryngealen Blutungen nicht durch stumpfe Gewalt, sondern durch stauungsbedingte Dehnung der sehr dünnwandigen Venen des Plexus pharyngo-laryngealis zustande kommen.

Auf die wichtigen Differentialdiagnosen der „Stauungsblutungen“ im Kopf-Hals-Bereich bei der Strangulation sei hier nur hingewiesen: Prokop u. Wabnitz (1970); Reh u. Haarhoff (1975); Bschor (1969); Janssen et al. (1968). Auch sei erwähnt, daß sehr dezidierte rechnerische und experimentelle Grundlagen darüber existieren, welche Zugkräfte bei den verschiedenen Formen des nicht freien Erhängens einwirken (Schwarzacher 1928) und wie sich die Gewebdrucke auf den Halsquerschnitt verteilen (Hultkvist 1930).

Fragestellungen und Untersuchungsziel

Eigene Untersuchungen werden unter folgenden Fragestellungen durchgeführt:

(1) Hat eine abnorme Kopfhaltung allein Einfluß auf die arterielle Durchblutung?

(2) Verhältnis der Variablen „Blutdruck“ zur Variablen „Strangulationszug“.

Die zitierten Untersuchungen befassen sich ausschließlich mit der Veränderung *einer* Variablen, während die andere konstant gehalten wird. Sofern die erforderlichen Zugkräfte überprüft wurden, lag zumeist ein arterieller Druck um 170 mm Hg vor. Da nach eigenen tierexperimentellen Untersuchungen davon ausgegangen werden muß, daß in der Strangulationsagonie beträchtliche arterielle Drucksteigerungen (über 300 mm Hg) stattfinden, sollten auch diese Bereiche experimentell berücksichtigt werden.

(3) Ist es bei horizontaler Drosselung möglich, die Vertebralarterien zu verschließen?

Falls diese Arterien grundsätzlich offen bleiben, wäre dies eine plausible Erklärung für das regelmäßig zu beobachtende Syndrom der venösen Stauung.

(4) Existiert eine Abhängigkeit der erforderlichen Verschlusskräfte von der topographischen Lage (supra-, infra-, mediolaryngeal) des horizontal geführten Strangwerkzeuges?

Gelegentlich war zu der Frage Stellung zu nehmen, ob bei Lage des (breiten) Strangwerkzeuges in Kehlkopfhöhe überhaupt mit einem raschen Carotidenverschluß und damit mit Bewußtlosigkeit zu rechnen sei.

(5) Beeinflussen verschiedene individuelle Parameter die Versuchsergebnisse?

Es sind aus den zitierten Untersuchungen keine Angaben über individuelle Parameter wie Totenstarre, Halsumfang und Arteriosklerose ersichtlich. Bei der intravitalem Strangulation wird nach der Literatur eine erhebliche reflektorische Kontraktion der Halsmuskulatur beobachtet. Auch könnte es sein, daß bei starkem Halsumfang und bei ausgeprägter Arteriosklerose wesentlich höhere Zugkräfte anzuwenden sind als normalerweise.

(6) Welche Bedeutung hat der Durchmesser des Strangwerkzeuges?

Auch ohne eingehende physikalische Berechnungen ist es verständlich, daß ein dünnes Strangwerkzeug bei gleicher Zugbelastung einen höheren Druck im Gewebe verursacht als ein dickes Strangwerkzeug. Die Dimension dieser Differenzen sind jedoch nicht bekannt.

Material und Methoden

Zunächst wurde eine Vorversuchserie an 4 Leichen zur Ermittlung einer optimalen präparativen Technik durchgeführt. In der endgültigen Serie wurden zehn Leichen untersucht (Tabelle 1).

Präparation

Bei der Entnahme des Gehirns aus dem Schädel mit üblicher Sektionstechnik wurde darauf geachtet, daß die Gefäßstümpfe der Carotiden und der Vertebrales möglichst lang belassen wurden. In diese vier Gefäßstümpfe konnten dann zur besseren Beobachtung des Durchflusses Katheter eingebunden werden.

Der Thorax wurde — in Abweichung von der üblichen Sektionstechnik — durch Median-spaltung des Sternums und Einsetzen eines Thoraxspanners eröffnet. In den Truncus brachio-cephalicus, die A. carotis communis sin. und die A. vertebralis sin. wurden Glaskatheter zum Anschluß an die Perfusionsschläuche eingebunden. Sorgfältig wurden alle Gefäße, die aus den obengenannten Arterien zur Versorgung der Brustwand und der oberen Extremitäten abgingen, unterbunden. Ebenfalls erfolgte nach einer Hautinzision in der Gegend der Carotidgabeln eine Ligatur der jeweiligen Carotis externa. Die letztgenannten Maßnahmen erwiesen sich als notwendig, um das Präparat für mehrere Perfusionsexperimente zu verwenden, ohne daß eine störende allgemeine Weichteilschwellung vor allem im Halsbereich entstehen konnte.

Perfusion

Über einen Druckbehälter mit vorgeschalteter Preßluftflasche wurde Leitungswasser bei kontinuierlicher Kontrolle in den Druckstufen 100 mm Hg, 200 mm Hg, 300 mm Hg und 170 mm Hg durch das Gefäßpräparat perfundiert. Ein Perfusionsstopp wurde dann angenommen, wenn der beobachtete starke Strahl aus den Kathetern an der inneren Schädelbasis in ein Tröpfeln überging.

Strangulation

Drei Werkzeuge fanden Anwendung: Eine Perlonschnur (Durchmesser 0,5 mm), ein Elektrokabel (Durchmesser 7 mm), ein Hanfseil (Durchmesser 15 mm).

Die *Drosselung* des horizontal gelagerten Präparates erfolgte durch eintourige Umschlingung des Halses, die Strangenden wurden beiderseits über Rollen geführt und mit variablen Gewichten

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Leichen

| Fall | Ge- schlecht | Alter (J.) | Körper- größe (cm) | Körper- gewicht (kg) | Todesursache | Hals- umfang (cm) | Toten- starre | Arterio- sklerose |
|------|-----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| 1 | ♂ | 25 | 185 | 80 | Intoxikation | 42 | + | — |
| 2 | ♂ | 71 | 173 | 75 | Stenosierende Coronarsklerose | 45 | — | +++ |
| 3 | ♂ | 45 | 183 | 81 | Reinfarkt | 40 | — | — |
| 4 | ♀ | 28 | 164 | 62 | Akuter Herztod | 33 | + | — |
| 5 | ♂ | 70 | 157 | 54 | Tablettenintoxikation | 33 | — | ++ |
| 6 | ♀ | 40 | 176 | 69 | Subdurale Blutung | 43 | + | — |
| 7 | ♀ | 65 | 155 | 77 | Tablettenintoxikation | 33 | + | ++ |
| 8 | ♂ | 57 | 176 | 80 | Coronarsklerose | 46 | — | + |
| 9 | ♂ | 43 | 177 | 75 | Reinfarkt | 43 | + | +++ |
| 10 | ♂ | 50 | 170 | 70 | Ertrinken | 43 | ++ | + |

belastet. Bei den Präparaten 1–6 erfolgten Strangulationsexperimente mit horizontaler Stranglage oberhalb, unterhalb und direkt über dem Kehlkopf; beim Präparat 7 erfolgte die Drosselung schräg zum Nackenbereich ansteigend.

Zur Simulation *atypischer supracervicaler Erhängungsformen* wurden bei 3 Präparaten (7, 8 und 9) in vertikaler Haltung und nach entsprechender Schlingenföhrung (Abb. 4) über eine Rolle verschiedene Gewichte angebracht. Die Perfusion erfolgte ausschließlich mit einem Druck von 170 mm Hg.

Um den Einfluß der *Halsextension* zu untersuchen, wurden die Experimente an den Präparaten 3, 4 und 6 sowohl im extendierten als auch im nichtextendierten Zustand durchgeführt. Die axiale Streckung des Halses erfolgte nach Fixierung der Füße durch Anbringung von Zuggewichten zwischen 20 und 80 kg am Schädel.

Ohne zusätzliche Strangulation erfolgten (1) zur Simulation einer extremen Kopfbeugehaltung eine Extension am Hinterhaupt (80 kg) bei gleichzeitigem manuellen Druck des Gesichtskinn-Bereichs gegen die Brust und (2) eine Prüfung der Gefäßdurchgängigkeit bei extremer Halsrotation sowie (3) bei Lateralflexion des Kopfes.

Ergebnisse

(1) *Einfluß der Strangdicke* (Abb. 1). Aus den arithmetischen Mittelwerten ist zu erkennen, daß zwischen dem Durchmesser des Strangwerkzeuges und den zum Gefäßverschluß erforderlichen Zugkräften eine direkte Beziehung besteht. Dabei war es in keinem Fall möglich (horizontale Stranglage), bei maximalen Zuggewichten zwischen 30 und 40 kg und zusätzlichem manuellen Zug die Vertebralarterien zu verschließen.

(2) *Einfluß des Perfusionsdrucks*. Wie zu erwarten, findet sich auch eine ähnliche Abhängigkeit zwischen Blutdruck und den zum Perfusionsstopp erforderlichen Zugkräften (Abb. 1). Vereinfacht betrachtet, ist zum Verschluß bei 300 mm Hg ein um etwa 50% höherer Kraftaufwand erforderlich als bei 100 mm Hg.

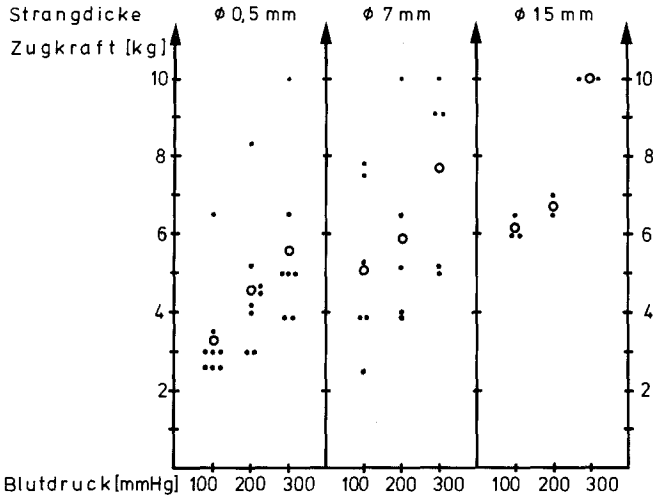


Abb. 1. Horizontale Drosselung (alle Höhen). Darstellung der Obstruktionskräfte (= Zugkräfte, die zum Perfusionsstopp der Carotiden erforderlich sind). ● Einzelwerte und ○ arithmetische Mittelwerte, geordnet nach Strangwerkzeugdicken und intraarteriellen Drucken

ABHÄNGIGKEIT DER ZUGKRÄFTE VON DER LAGE DER STRANGWERKZEUGE

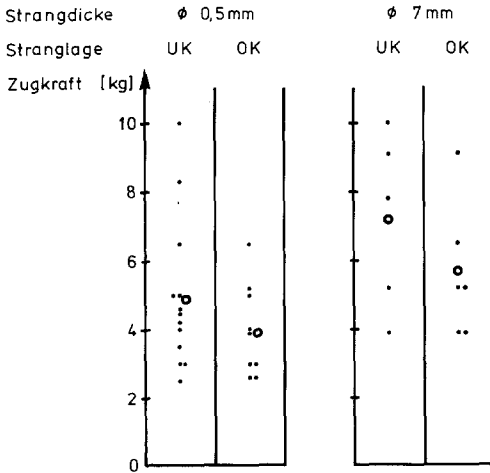


Abb. 2. Horizontale Drosselung in verschiedenen Halshöhen. UK = unterhalb des Kehlkopfes, OK = oberhalb des Kehlkopfes. Darstellung der Obstruktionskräfte für die Carotiden. Zwei Strangwerkzeuge (0,5 und 7 mm dick). In jeder Gruppe sämtliche Blutdrucke in gleicher Häufigkeit und Gewichtung: P_{art} min 100 mm Hg, max 300 mm Hg, \bar{x} 200 mm Hg. ● Einzelwerte, ○ arithmetische Mittelwerte

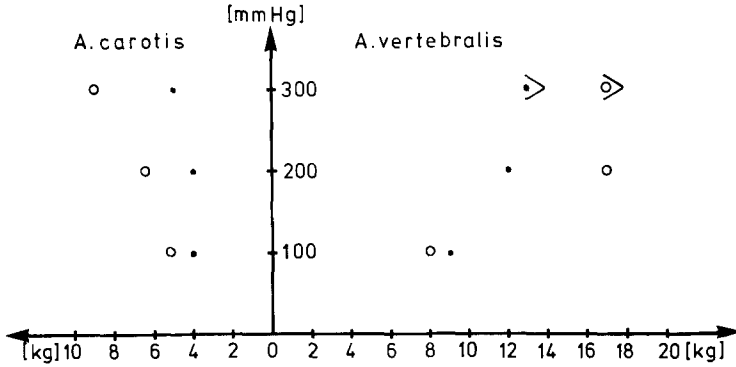


Abb. 3. Atypische Drosselung mit schrägem (zum Nacken symmetrisch ansteigenden) Strangverlauf. Darstellung der Obstruktionskräfte für beide Gefäße. Mittelwerte aus $N = 2$ Präparaten. Zwei Werkzeuggesten (\bullet 7 und \circ 15 mm). Drei Blutdruckbereiche. \triangleright und $\triangleright\triangleright$ bedeutet: Bei den angegebenen Obstruktionskräften waren die Arterien noch nicht verschlossen

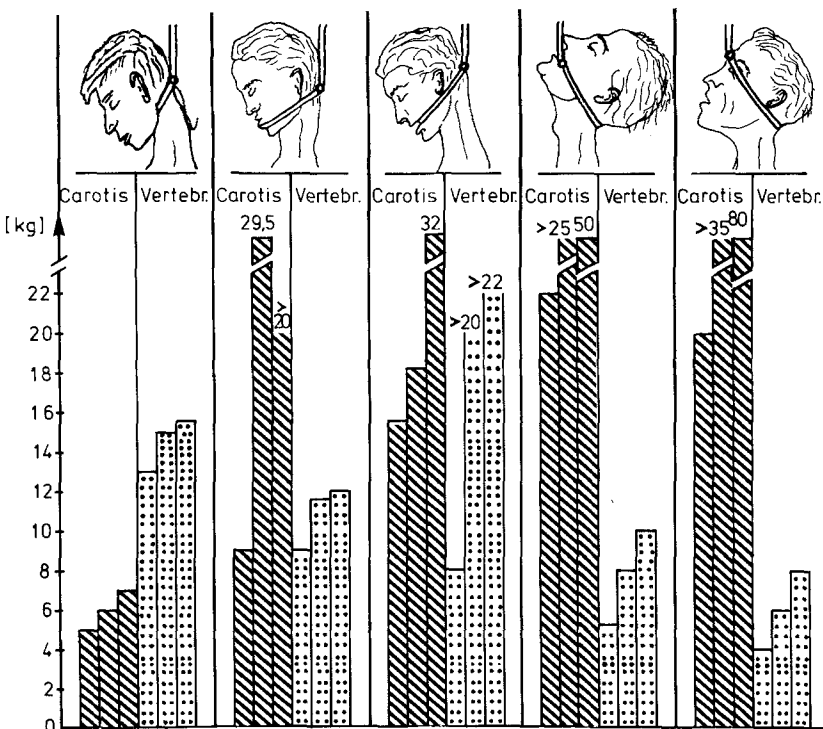


Abb. 4. Supracervicales Erhängen. Facialer Suspensions- bzw. Druckpunkt grundsätzlich oberhalb des Kinns (Ausnahme Kontrollgruppe 1). In allen Fällen symmetrische Erhängungsformen. Darstellung der Obstruktionskräfte. $N = 3$ Präparate. Für jedes Präparat wird der Mittelwert des entsprechenden Arterienpaares dargestellt. Offene Säulen: Bei den erreichten Werten waren die Arterien noch nicht verschlossen. Strangdicke 7 mm. Perfusionsdruck 170 mm Hg

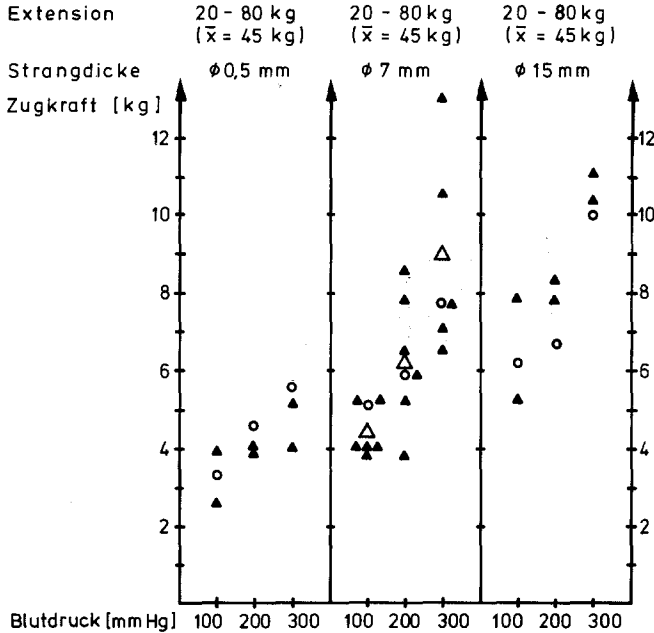


Abb. 5. Horizontale Drosselung in Kombination mit axialer Extension. Obstruktionskräfte für die Carotiden, geordnet nach Strangwerkzeuggestricken und Perfusionsdrücken, unter zusätzlicher Aufführung der Extensionskräfte (Bereiche und Mittelwerte). ▲ Einzelwerte, △ arithmetische Mittelwerte, ○ arithmetische Mittelwerte aus Abb. 1

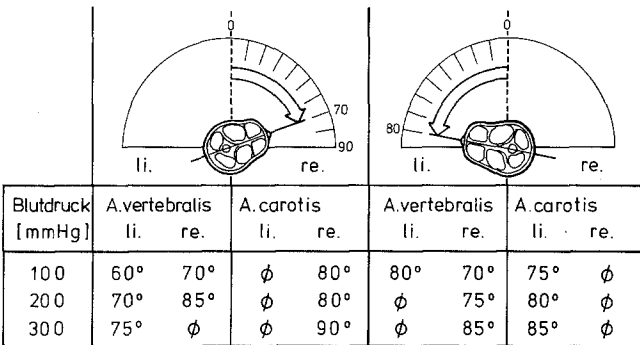


Abb. 6. Arterienverschlüsse bei Rotation des Kopfes, abhängig vom Gefäßinnendruck („Blutdruck“). Die angegebenen Winkel (Mittelwerte aus N = 2 Präparaten) bezeichnen den Perfusionsstopp der jeweiligen Arterie. ∅ = kein Perfusionsstopp bei maximaler Drehung erreichbar

(3) *Einfluß der Stranglage* (Abb. 2). Es war bei allen drei horizontalen Stranglagen (oberhalb, unterhalb und direkt über dem Kehlkopf) im gleichen Kraftbereich möglich, die Carotiden zu verschließen. Da die Stranglage unmittelbar über dem Kehlkopf, besonders bei dünnem Werkzeug, die Tendenz zum Abgleiten nach oben oder unten zeigte, wurde für weitere Beobachtungen nur die Strangführung oberhalb oder unterhalb des Kehlkopfes verwendet. Unterhalb des Kehlkopfes war ein etwa um 20% höherer Kraftaufwand erforderlich als bei supralaryngealer Lage.

Arterienverschlüsse bei Lateralflexion des Halses

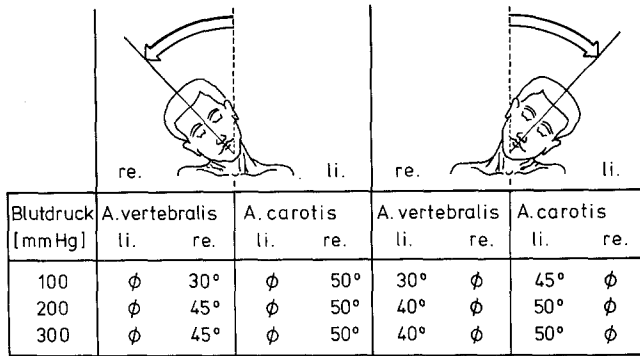


Abb. 7. Arterienverschlüsse bei Lateralflexion des Halses in Abhängigkeit vom Perfusionsdruck (3 Blutdruckbereiche). Die Winkelangaben (Mittelwerte aus $N = 2$ Präparaten) bezeichnen den Perfusionsstopp der jeweiligen Arterie. ∅ = kein Arterienverschluß bei maximaler Lateralflexion möglich

Halsumfang >40 cm 33 cm

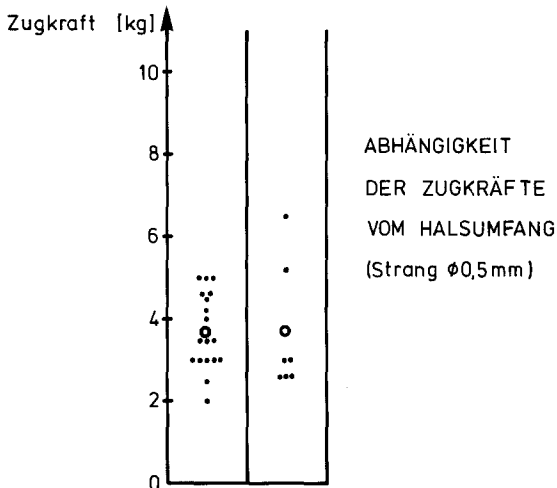


Abb. 8. Horizontale Drosselung. Abhängigkeit der Obstruktionskräfte vom Halsumfang (33 cm und > 40 cm). Auswertung bei einem Strangwerkzeug (0,5 mm dick). Sämtliche Blutdrucke sind in beiden Gruppen mit gleicher Gewichtung vertreten ($\bar{x} = 200$ mm Hg). ● Einzelwerte, ○ Mittelwerte

Bei zum Nacken ansteigender Drosselung gelang es ohne allzu großen Kraftaufwand, auch die Vertebralarterien zu komprimieren (Abb. 3). Es besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen ansteigendem Gefäßinnendruck und dem zur Obstruktion erforderlichen Kraftaufwand.

(4) *Supracervicale Stranglage beim Erhängen* (Abb. 4). Zum besseren Vergleich mit der Literatur wurde die typische Stranglage 4 atypischen symmetrischen supra-

cervicalen Stranglagen gegenübergestellt. Je nachdem, ob es sich um eine faciale oder nuchale Aufknüpfung handelte, waren entweder die Carotiden oder die Vertebrales früher komprimiert. Bei den Gefäßen, welche in Abb. 4 mit einer oben offenen Säule gekennzeichnet sind, gelang es auch bei weiterer grober manueller Steigerung der Zugkraft nicht, einen Perfusionsstopp zu erzielen. Der Perfusionsdruck betrug bei diesen Versuchen konstant 170 mm Hg.

(5) *Einfluß der Kopfhaltung.* Der Einfluß zusätzlicher *Extension* des Halses bei gleichzeitiger horizontaler Drosselung wurde in zahlreichen Einzelexperimenten überprüft (Abb. 5). Die arithmetischen Mittelwerte bei horizontaler Drosselung ohne zusätzliche *Extension* (Abb. 1) zeigen keine Abweichungen von den mit zusätzlicher *Extension* gewonnenen Werten; die Halsextension hat somit also keinen Einfluß auf die Perfusion der Halsarterien.

Die *Beugung* des Kopfes nach vorn ließ auch bei zusätzlicher *Extension* (80 kg) am Hinterhaupt keinerlei Behinderung der arteriellen Perfusion erkennen.

Bei *Kopfdrehung* wurden in Abhängigkeit vom Perfusionsdruck und vom Drehwinkel sehr unterschiedliche Verschlußwerte ermittelt (Abb. 6). Vertebralis-Obstruktionen wurden bei Kopfdrehung auf der homolateralen Seite (bezogen auf die Drehrichtung) in Abhängigkeit vom Perfusionsdruck erst ab 70° gemessen, kontralateral konnte gelegentlich schon ab 60° ein Verschluß erzielt werden. Die Carotiden waren auf der — bezogen auf die Drehrichtung — homolateralen Seite bereits bei Drehwinkeln unter 90° verschlossen, dagegen war auf der kontralateralen Seite auch bei maximaler Drehung kein Perfusionsstopp erreichbar.

Die reine *Lateralflexion* des Kopfes zeigte in jedem Fall Verschlüsse der Vertebralarterien auf der gleichen Seite, kontralateral dagegen keine Perfusionsstörungen. Die Carotiden zeigten ein ähnliches Verhalten (Abb. 7).

(6) Der Einfluß *individueller Parameter* (Halsumfang, Arteriosklerose, Leichenstarre) wurde am gleichen Kollektiv überprüft. Es ergab sich, daß der Halsumfang keinen Einfluß auf die zum Verschluß erforderlichen Strangulationskräfte hat (Abb. 8).

Es zeigte sich auch, daß die individuellen Merkmale „Arteriosklerose“ und „Leichenstarre“ ohne Einfluß auf die Versuchsergebnisse waren.

Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse stimmen in wesentlichen Teilen mit den Angaben in der Literatur überein, zeigen zusätzlich jedoch folgende Aspekte auf:

(1) Der strangulationsbedingte Verschluß der Carotiden steht in Abhängigkeit vom arteriellen Perfusionsdruck und von der Strangdicke. Die von uns beim typischen Erhängen ermittelten Zugkräfte (5–7 kg) liegen etwas höher als bei Schwarzacher (1928), im gleichen Bereich wie bei Brouardel (1897) und Scheil (1953). Wie bereits von Scheil angemerkt und von Hultkvist (1930) errechnet, können geringe Differenzen in der Stranglage oder in der Werkzeugdicke ursächlich sein für solche Abweichungen. So genügte eine etwas mehr horizontale

Strangführung, um die Gefäße bei etwa den gleichen Zugkräften zu verschließen wie in den Experimenten Schwarzachers. Die Druckbelastung der Halsweichteile ist bei einer solchen Stranglage größer. Solche Differenzen sind für die Praxis jedoch unerheblich. Festzustellen ist, daß es auch bei beträchtlichem Werkzeugdurchmesser und bei strangulationsagonaler Hochdruckkrise ohne allzu großen Kraftaufwand möglich ist, die Carotiden zu verschließen. Analoge Rückschlüsse dürften erlaubt sein auch im Hinblick auf nicht freie Erhängungssituationen. Noch breitere Strangwerkzeuge als das fingerdicke Hanfseil in unseren Versuchen waren in ihrer Auflagefläche nur schwer standardisierbar und wurden deshalb nicht mit in die Versuchsanordnung einbezogen. Es ist jedoch der vorsichtige Schluß erlaubt, daß bei weiterer Steigerung der Werkzeugdicke unter Berücksichtigung der Kräfte des Täters ein Punkt erreicht wird, bei dem der momentane Verschluß der Carotiden nicht mehr gelingt und daher längere Gegenwehr sowie gröbere Stauungserscheinungen zu erwarten sind.

(2) Es gelingt bei horizontaler Drosselung mit realistischen Zugkräften (bis 35 kg) nicht, die Vertebralarterien zu verschließen. Auch maximale zusätzliche manuelle Belastung durch kräftige Personen war hierzu nicht ausreichend. Die bei Drosselung regelmäßig offenbleibenden Wirbelarterien sind daher wohl als Ursache des Stauungssyndroms im Kopfbereich anzusehen. Die reichlich vorhandenen arterio-arteriellen, arterio-venösen und veno-venösen Anastomosen geben bei gleichzeitiger Behinderung des venösen Abflusses ausreichend Gelegenheit zur „Umverteilung“ des über die Vertebralarterien einströmenden arteriellen Blutes.

Dennoch sind Ausnahmen denkbar: Da nach dem Experiment mit atypischer Drosselung (Anstieg der Strangulation zum Nacken hin) analog zum typischen Erhängen übereinstimmend mit den Untersuchungen Haberdas (1927) der „vulnerable“ Bereich der Vertebralarterien im Bogen zwischen 1. und 2. Halswirbel zu suchen ist, sind Todesfälle durch Erdrosseln auch ohne Stauungserscheinungen im Kopfbereich denkbar. Dies z. B. dann, wenn der Täter wesentlich größer ist als das stehende oder sitzende Opfer und die Drosselung daher nicht rein horizontal erfolgt. Eine weitere Möglichkeit besteht auch darin, daß beim Drosselvorgang der Kopf des Opfers durch den Täter zusätzlich in eine abnorme Haltung (Flexion oder Rotation) gebracht wird. Beim Fehlen venöser Stauungszeichen sollte der Rückschluß auf eine postmortale Drosselung oder auf einen Reflextod also nur unter Vorbehalt erfolgen, zumal auch an anatomische Besonderheiten oder ein starkes Kräfte-Mißverhältnis zwischen Täter und Opfer zu denken ist.

(3) Im Hinblick auf die Experimente Rauschkes (1957), welche in den wesentlichen Ergebnissen voll bestätigt werden können, wurde eine eventuelle zusätzliche Obstruktionswirkung durch Halsextension untersucht. Ein solcher Einfluß konnte nicht nachgewiesen werden. Deshalb lassen sich die Gefäßverschlüsse bei supracervicalen Erhängungen nur durch direkte oder indirekte Strangulationswirkung (z. B. über den subluxierten Unterkiefer) auf die Halsarterien erklären.

Ausschließliche Rotation des Kopfes ohne zusätzliche Strangulation führte bereits bei einem Winkel von etwa 60° zu Passagebehinderungen der kontralateralen Vertebralarterien und auf der homolateralen Seite — in Abhängigkeit vom Perfusionsdruck — bei Drehwinkeln unter 90° gelegentlich zum gleichen

Effekt. Mit den Ergebnissen Holzers (1955) besteht hier nur hinsichtlich der Angaben der kontralateralen Vertebralarterien Übereinstimmung. Holzer fand auf der homolateralen Seite keine Vertebralisverschlüsse (auch nicht bei Drehwinkeln über 90°). Wir können diese Differenz nur zurückführen auf unterschiedliche Perfusionsdrucke (welche von Holzer nicht angegeben sind) oder auf individuelle anatomische Besonderheiten der Halswirbelsäule bzw. der oberen Halsgelenke. Hier ist gegebenenfalls eine Vertiefung der Problematik, eventuell auch im Hinblick auf die Bedeutung für die Anästhesiologie, erforderlich. Auch für den von uns beobachteten sehr frühen Carotisverschluß auf der homolateralen Seite (bei $75\text{--}80^\circ$ Kopfdrehung!) erscheint kritische Zurückhaltung angebracht. Mit den Untersuchungen von Weiss (1937) ist dieses Ergebnis nur schwer vergleichbar wegen der extremen Unterschiede im Lebensalter der untersuchten Leichen (Neugeborene — Erwachsene). Es ist kaum vorstellbar, daß bei Lebenden, welche zu aktiver, nahezu rechtwinkliger Kopfdrehung fähig sind, Perfusionsstörungen in diesen Gefäßen auftreten, ohne daß es zu zentralen Funktionsausfällen kommt. Möglicherweise sind die Gefäßlumen beim Lebenden infolge der aktiven Muskelkontraktion bei Halsdrehung vor einer solchen Kompression geschützt.

Ähnliche Überlegungen gelten für den Einfluß der reinen Lateralflexion, hierfür fanden wir in der Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen. Geht man davon aus, daß der Kopf gegen den Rumpf aktiv nach lateral maximal um etwa 45° beweglich ist, so würde die Übertragung unserer Versuchsergebnisse auf die Verhältnisse beim Lebenden bedeuten, daß auch hierbei eine Vertebralarterie bereits verschlossen ist.

Auf jeden Fall wird man aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen zum Einfluß extremer Kopfhaltungen (ohne Strangulation) auf die Perfusion der Halsarterien in Übereinstimmung mit der Literatur den vorsichtigen Schluß ziehen dürfen, daß eine entscheidende Behinderung der arteriellen Durchblutung durch extreme, passive Kopfbewegungen allein möglich ist. Neben zu starker Elongation und Abknickung der jeweils betroffenen Vertebralarterien könnte bei den Carotiden auch ein Anstieg des periarteriellen Gewebsdruckes im Hals — z. B. durch querverlaufende Halshautfalten — eine Teilursache darstellen.

(4) Individuelle Merkmale wie Halsumfang, Arteriosklerose und Leichenstarre hatten in den durchgeführten Experimenten keinen erkennbaren Einfluß auf die zum Gefäßverschluß erforderlichen Kräfte. Für definitive Aussagen in dieser Richtung erscheint die Anzahl unserer Versuche noch zu gering, für die forensische Praxis dürfte der erlangte Erkenntnisgrad jedoch ausreichende Grundlagen bieten.

Im Hinblick auf die Lage des Strangwerkzeugs oberhalb, unterhalb oder direkt über dem Kehlkopf ist festzustellen, daß in allen drei Fällen unter forensischem Aspekt keine wesentlichen Unterschiede der erforderlichen Zugkräfte bis zur Obstruktion der Halsgefäße notwendig waren. Zur Erzielung des Perfusionsstopps bei Strangulation unterhalb des Kehlkopfes waren nur etwa 20% höhere Kräfte erforderlich als bei supralaryngealer Lage. Dieser Unterschied erklärt sich nach den Feststellungen Hultkvists (1930) dadurch, daß die Druckbelastung der Halsweichteile von der Oberfläche zur Tiefe hin erheblich abnimmt. Die Carotiden sind aber oberhalb des Kehlkopfes im wesentlichen nur von Haut, Unterhaut-

fettgewebe und Faszien bedeckt, während unterhalb des Kehlkopfes neben dem *Musculus sternocleidomastoideus* zum Teil auch seitliche Anteile der geraden Halsmuskeln hinzukommen.

Literatur

- Bertelsmann (1903) Tod einer Tracheotomierten durch Erhängen. *Vjschr Gerichtl Med* 26: 251–255
- Brouardel P (1897) *La pendaison, la strangulation, la suffocation*. Baillière, Paris
- Bschor F (1969) Beurteilung von Stauungsblutaustritten im Kopfbereich bei Strangulation und anderen Todesursachen. *Beitr Gerichtl Med* 25:146–152
- Camps FE, Hunt AC (1959) Pressure on the neck. *J Forensic Med* 6:116–134
- Gius JA, Grier DH (1950) Venous adaption following bilateral radical neck dissection with excision of the jugular veins. *Surgery* 28:305–321
- Haberda A (1927) *Lehrbuch der gerichtlichen Medizin*, 11. Aufl. Urban und Schwarzenberg, Berlin Wien
- Haberda A, Reiner M (1894) Experimentelle und kritische Beiträge zur Lehre vom Tode durch Erhängen. *Vjschr Gerichtl Med* 8 [Suppl]:126–147
- Hofmann ER von (1876) Mitteilungen des Vereins der Ärzte Niederösterreichs 2, Nr. 8
- Holzer FJ (1955) Verschluss der Wirbelsäulenschlagader am Kopfgelenk mit nachfolgender Thrombose durch Seitwärtsdrehen des Kopfes. *Dtsch Z Gerichtl Med* 44:422–426
- Hultkvist G (1930) Druck der Strangulationsschlinge. *Dtsch Z Gerichtl Med* 14:214–228
- Janssen W, Jaecker D, Erbach A (1968) Zur Unterscheidung von Druck- und Stauungsblutungen in den Halsweichteilen. *Dtsch Z Gerichtl Med* 64:147–157
- Kefersteine (1915) Ein spät entdeckter Mord. *Z Medizinalbeamte* 28:286–294
- Langermann (1916) Zur Kasuistik des Erhängungstodes. *Z Medizinalbeamte* 29:589–594
- Meixner K (1919) Fragliches Erhängen bei Lage der Schlinge über dem Kinn. *Wien Klin Wochenschr* 978–980
- Mueller B (1975) *Gerichtliche Medizin*, 2. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Poirier P, Charpy A (1914) *Traité d'anatomie humaine*. Masson, Paris
- Prokop O, Wabnitz R (1970) Vorkommen von Bindehautblutungen bei Lebenden und Toten, dargestellt in 10 Tabellen. *Z Rechtsmed* 67:249–257
- Rauschke J (1957) Über den Eintritt der Bewußtlosigkeit bei atypischer Erhängung. *Dtsch Z Gerichtl Med* 46:206–211
- Reh H, Haarhoff K (1975) Zum Beweiswert der Stauungs- und der Weichteilblutungen beim Erdrosseln und Erwürgen. *Z Rechtsmed* 77:47–60
- Reineboth (1895) Tod eines Tracheotomierten durch Erhängen. *Vjschr Gerichtl Med* 9:265–284
- Reuter F (1922) Über das Vorkommen, die Entstehung und Bedeutung von Muskelblutungen beim Erstickungstode. *Beitr Gerichtl Med* 5:137–156
- Reuter F (1933) *Lehrbuch der gerichtlichen Medizin*. Urban und Schwarzenberg, Berlin Wien
- Scheil H (1953) Über die Durchgängigkeit der Halsgefäße für Luft beim Erhängen. *Dtsch Z Gerichtl Med* 42:294–300
- Schwarzacher W (1928) Beiträge zum Mechanismus des Erhängungstodes. *Dtsch Z Ges Gerichtl Med* 11:145–153
- Strassmann G (1922) Zum Mechanismus des Erhängungstodes. *Dtsch Z Ges Gerichtl Med* 1: 686–694
- Weiss T (1937) Experimentelle Untersuchungen über Verschluss der Atemwege und der Halsblutgefäße des Neugeborenen durch Umdrehen des Kopfes. *Dtsch Z Gerichtl Med* 27: 207–218

Eingegangen am 15. Dezember 1980