

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktorin: Prof. Dr. med. Stefanie Ritz

Zur Frage der Berücksichtigung der individuellen
Körperkerntemperatur zum Sterbezeitpunkt bei der
temperaturbasierten Todeszeitschätzung nach Henßge

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Patrick Scheidemann

2025

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Benno Hartung

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Detlef Kindgen-Milles

Für HuG

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Scheidemann, P, Schwender, H, Ritz, S, Kindgen-Milles, D, Hartung, B: Core body temperatures during final stages of life – an evaluation of data from in-hospital-decedents. *Int. J. Legal Med.* 136, 1341-1350 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s00414-022-02837-7>

Zusammenfassung

Temperaturbasierte Methoden sind weithin als Goldstandard für die Schätzung der Todeszeit anerkannt. Sofern keine anderslautenden Informationen vorliegen, geht die Methode nach Henßge davon aus, dass eine Person mit einer Körperkerntemperatur von etwa 37,2 °C verstirbt. Aus den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen ergeben sich folgende Fragen.

- a) Bei welchen Körperkerntemperaturen sterben die Patienten?
- b) Ist ein Körperkerntemperaturintervall für bestimmte Gruppen von Todesursachen definierbar?
- c) Welche medizinischen Verfahren haben welchen Einfluss auf die Körperkerntemperatur?

Um dies zu untersuchen, wurden retrospektiv die Temperaturdaten und Einflussfaktoren von innerhalb von zwei Jahren auf der chirurgischen Intensivstation Verstorbenen ausgewertet. In die Auswertung flossen die Daten von 103 Personen ein, bei denen Temperaturmessungen vorlagen und keine externe Erwärmung oder Kühlung erfolgte. Für die hier vorliegende Arbeit wurden die Ergebnisse aus der oben genannten Auswertung mit den Ergebnissen verglichen, bei denen die extern erwärmten und gekühlten Personen miteingeschlossen wurden.

Die Körpertemperatur schwankte intra- und interindividuell erheblich. Es wurde keine belastbare Korrelation zu bestimmten Todesursachen beobachtet. Selbst bei primären Herztodesfällen zeigten sich breite Temperaturintervalle zum Zeitpunkt des Todes. Männer scheinen mit höheren Körpertemperaturen zu sterben als Frauen.

Die vorliegenden Daten weisen auf mögliche Verzerrungen bei der Schätzung des Todeszeitpunkts hin, wenn generell eine Körperkerntemperatur von 37,2 °C angenommen wird.

Eine breiter angelegte Untersuchung mit automatisch und kontinuierlich dokumentierten Messwerten wäre für eine weitergehende Beurteilung wünschenswert.

Summary

Temperature-based methods are widely recognized as the gold standard for estimating time of death. Unless there is information to the contrary, the Henßge method assumes that a person dies at a core body temperature of approximately 37.2 °C. The following questions arise from the scientific findings to date.

- a) At what core body temperatures do patients die?
- b) Is it possible to define a core body temperature interval for certain groups of causes of death?
- c) Which medical procedures have what influence on core body temperature?

In order to investigate this, the temperature data and influencing factors of patients who died in the surgical intensive care unit within two years were evaluated retrospectively. The analysis included 103 people for whom temperature measurements were available and no external warming or cooling was applied. For this study, the results from the above-mentioned evaluation were compared with the results in which the externally warmed and cooled persons were included.

Body temperature varied considerably within and between individuals. No clear correlation was observed with specific causes of death. Even in primary cardiac deaths, there were wide temperature intervals at the time of death. Men appear to die at higher body temperatures than women.

The available data point to possible biases in the estimation of the time of death if a core body temperature of 37.2 °C is generally assumed.

A broader study with automatically and continuously documented measured values would be desirable for a more detailed assessment.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BMI	Body mass index
bzw.	beziehungsweise
d	Tag
h	Stunde
min.	Minute
p.m.	post mortem
sog.	sogenannt
Tab.	Tabelle
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Grundlagen	1
Möglichkeiten zur Bestimmung des Todeszeitpunktes	1
Sichere Todeszeichen	1
Livores und Rigor mortis	1
Supravitale Reaktionen.....	3
Mechanische Erregbarkeit der Muskeln	3
Elektrische Erregbarkeit der Muskeln	4
Pharmakologische Erregbarkeit der Irismuskulatur	4
Temperaturgestützte Methoden zur Bestimmung des Todeszeitpunktes.....	4
Finite-Elemente-Methode.....	5
Methode nach Henßge	5
Körpertemperatur zum Zeitpunkt des Todes – Stand der Wissenschaft	6
Körpertemperatur und Thermoregulation	6
Körpertemperatur zum Todeszeitpunkt	7
Ziele der Arbeit.....	8
Ethikvotum	8
Core body temperatures during final stages of life – an evaluation of data from in-hospital-decedents	8
Zusätzliche Ergebnisse	9
Zusammenhang zwischen erreichtem Lebensalter und agonal gemessener Körpertemperatur	9
Einteilung nach Todesursachen	11
Todesursachen nach Altersgruppen.....	12
Intraindividuelle Schwankungen	13
Blutdruck und Puls im Zeitverlauf und in Korrelation zur Körpertemperatur	15
Temperaturverteilung zu den verschiedenen Zeitpunkten	17
Diskussion.....	18
Limitationen.....	21
Literatur- und Quellenverzeichnis	22
Anhang.....	27
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	27
Danksagung	29

Einleitung

Grundlagen

Im Falle eines unbeobachteten Todes kann die Schätzung des Todeszeitpunktes von elementarer Bedeutung sein. Der Todeszeitraum dient der Rekonstruktion des Sterbevorgangs, wodurch einerseits eventuelle Alibis von Tatverdächtigen überprüft, andererseits bei mehreren Verstorbenen Fragen der Erbfolge geklärt werden können. Die Todeszeitschätzung ist daher ein wesentlicher Bestandteil der rechtsmedizinischen Tatortarbeit. Hierbei soll den Ermittlungsbehörden möglichst eine erste Einschätzung bereits am Leichenfundort vorliegen. Prinzipiell kann die Todeszeitschätzung in zwei unterschiedliche Phasen, die frühe und die späte postmortale Phase, eingeteilt werden. Im Weiteren wird zur einfacheren Übersicht auf frühe Todeszeitbestimmungsverfahren eingegangen. Der Goldstandard hierbei stützt sich auf Beobachtungen des Abkühlverhaltens des Leichnams in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen, das wissenschaftlichen Prinzipien folgt.

Möglichkeiten zur Bestimmung des Todeszeitpunktes

Sichere Todeszeichen

Einen ersten Anhaltspunkt zur Bestimmung des Todeszeitpunktes ergibt die Ausprägung der sicheren Todeszeichen. Hierbei zählen zu den frühen Leichenveränderungen die Totenflecken (Livores) und die Totenstarre (Rigor mortis). Zu den späteren Leichenveränderungen zählen Fäulnis, Verwesung, Autolyse und Mumifikation. Im späteren Verlauf kann auch ein eventueller Insektenbefall einen Hinweis auf den Todeszeitpunkt geben. Die frühen Leichenveränderungen können gemeinsam mit der Methode nach Henßge zur Todeszeitschätzung eingesetzt werden (sog. Compound-Methode).

Livores und Rigor mortis

Mallach et al. führten 1971 eine Studie zur Evaluation der Todeszeitschätzung mit Hilfe der Livores und des Rigor mortis in 271 Fällen durch. Durch diese Studie konnte ein tabellarischer Zeitverlauf zum Eintritt und zur Ausprägung dieser Todeszeichen erstellt werden. [1] Zuerst treten die Totenflecken nach einer Zeitspanne von etwa 20-30 Minuten auf. Sie entstehen durch Hypostase. Die

Kapillaren der Haut füllen sich in den abhängigen Körperteilen. Die Auflageflächen werden hierbei ausgespart. Zunächst sind diese noch vollständig wegdrückbar. Kommt es im Verlauf durch intravasale Hämolyse zu einer Ablagerung von Hämoglobin in das Gewebe, sind diese nicht mehr wegdrückbar, was nach spätestens 24 Stunden anzunehmen ist. Die Ausprägung und Farbe der Totenflecken ist hierbei vom Hämoglobingehalt und etwaigen Vergiftungen wie zum Beispiel mit Kohlenmonoxid abhängig. Folgende Tabelle zeigt hierbei den Zeitverlauf.

Erste Totenflecken	etwa 20 – 30 min. p.m.
Konfluieren der Totenflecken	etwa 1 – 6 h p.m.
Volle Ausprägung	etwa 3 – 16 h p.m.
Vollständige Umlagerbarkeit	maximal 6 – 8 h p.m.
Unvollständige Umlagerbarkeit	etwa 4 – 24 h p.m.
Vollständige Wegdrückbarkeit	bis zu 20 h p.m.
Unvollständige Wegdrückbarkeit	bis zu 36 h p.m.

Tab. 1 Zeitverlauf der Livores post mortem [1]

Nach den Totenflecken setzt als zweites sicheres Todeszeichen die Totenstarre ein. Im Rahmen des Querbrückenzyklus wird ATP für die Entspannung der Muskeln benötigt. Dadurch werden Myosin und Aktin voneinander getrennt. Postmortal kommt es zu einer Beendigung der Stoffwechselfvorgänge, sodass ATP zerfällt. Als Folge davon kann die Bindung zwischen Myosin und Aktin nicht mehr voneinander getrennt werden. Es kommt zur Totenstarre. Durch autolytische Prozesse wird die Totenstarre im Verlauf wieder gelöst. Der Eintritt der Totenstarre ist hierbei von der Umgebungstemperatur und von etwaiger körperlicher Aktivität vor Eintritt des Todes abhängig. [2] Die folgende Tabelle zeigt den zeitlichen Ablauf von Auftreten der Totenstarre bis zur Lösung.

Beginn der Totenstarre an Augenlidern	etwa 1 – 2 h p.m.
Auftreten der Totenstarre an Kiefer bzw. Kaumuskeln	etwa 2 – 4 h p.m.
Vollständig ausgeprägte Totenstarre	etwa 6 – 8 h p.m.

Wiederauftreten der Totenstarre nach „Brechen“	etwa 7,5 – 20 h p.m.
Beginnende Lösung der Totenstarre	etwa 2 – 3 d p.m. (bis 300 h p.m.)
Vollständige Lösung der Totenstarre	etwa 3 – 4 d p.m. (bis 3 Wochen p.m.)

Tab. 2 Zeitverlauf der rigor mortis post mortem [1,3,4]

Die Ausprägung von Livores und Rigor mortis wird im Rahmen der Todeszeitschätzung in Ergänzung zu anderen Schätzverfahren verwendet.

Supravitale Reaktionen

Als Supravitalphase wird die Zeit zwischen dem Eintritt des Todes (Individualtod) und dem totalen Organtod bezeichnet. In dieser Phase bestehen noch Restfunktionen des Gewebes und der Organe, die messbar sind und einen Hinweis auf den Todeszeitpunkt geben können.

Mechanische Erregbarkeit der Muskeln

Zsako Muskelphänomen

Dieses kann einerseits durch eine mechanische Stimulation im Bereich der Hand ausgelöst werden, wobei mit Hilfe eines Hammers die Musculi interossei im Bereich des Handrückens stimuliert werden. Dadurch kommt es zu einer Adduktion der Finger. Auf der anderen Seite kann dieses Phänomen an der vorderen Oberschenkelmuskulatur, dem M. quadriceps femoris, ausgelöst werden. Dazu erfolgt der mechanische Stimulus im unteren Drittel dieser Muskulatur und es kommt zu einem Hochzug der Patella. Weitere Möglichkeiten bestehen z. B. zwischen den Schulterblättern, wodurch es zu einer Annäherung dieser kommt oder über dem M. biceps brachii, wobei sich der gesamte Muskel kontrahiert. Dieses Phänomen lässt sich etwa 1,2 bis 2,5 h p.m. auslösen. [5]

Idiomuskulärer Wulst

Der idiomuskuläre Wulst ist die schwächere Ausprägung des Zsako Muskelphänomens über den Zeitpunkt von 2 h p.m. hinaus. Eine erste Arbeit hierzu, die die Obergrenze der Auslösbarkeit auf 13 Stunden angibt, ist die Arbeit von Chiari aus dem Jahr 1913. Hierbei wird durch einen Schlag auf den Muskelbauch eines größeren Muskels, z. B. des M. quadriceps femoris, eine Kontraktion des Muskelbauches ausgelöst, die eine wulstartige Form hat [5-7].

Aktuell konnte eine Eingrenzung auf maximal 13 Stunden p.m. bestätigt werden. [7]

Elektrische Erregbarkeit der Muskeln

Hierbei handelt es sich um eine postmortale Elektrostimulation einzelner Muskelgruppen. Ein elektrischer Reiz wird gesetzt und die Reaktion des abhängigen Muskels durch Messung des Kraft-Zeit-Verlaufs bestimmt. Dabei wird ein Kraftaufnehmer verwendet. Die mechanische Reaktion auf einen definierten elektrischen Reiz nimmt mit zunehmender Dauer des postmortalen Intervalls ab und besteht in bestimmten Muskelgruppen länger. Üblicherweise wird hierfür die mimische Muskulatur sowie deutlich seltener die Thenar- und Hypothenarmuskulatur verwendet. [8]

Pharmakologische Erregbarkeit der Irismuskulatur

Pharmakologisch können Medikamente, die auf die Pupillomotorik wirken, post mortem eine Zeit lang eine Reaktion auslösen. Diese werden hierzu subkonjunktival injiziert. Mögliche Reaktionen sind Mydriasis und Miosis, also die Weitstellung oder Verengung der Pupille. Eingesetzte Medikamente können z. B. Noradrenalin oder Acetylcholin sein. Die Reaktionen erscheinen etwa 20-40 h p.m. [5] Nach neueren Erkenntnissen sollte dieses Verfahren auf Grund seiner sehr ungenauen Aussagekraft in der forensischen Todeszeitbestimmung nicht mehr verwendet werden. [9]

Temperaturgestützte Methoden zur Bestimmung des Todeszeitpunktes

Bereits 1829 beschrieb Davy seine Beobachtungen über die Temperatur des menschlichen Körpers nach dem Tod. Er maß im Rahmen eines Feldeinsatzes Temperaturen von 82°F bis 113°F (etwa 27,8°C bis 45°C) zwischen drei und 29 Stunden p.m. [10]. Bei einigen dieser Personen bestand nach dem Tod Fieber, sodass Davy annahm, dass die Todesursache die Temperatur zum Zeitpunkt des Todes beeinflusse und diese bis in die postmortale Zeit anhalte. Davy entwickelte somit die ersten Ideen zur Verwendung der postmortalen Körpertemperatur.

Für forensische Zwecke werden heutzutage im Wesentlichen zwei temperaturabhängige Methoden zur Schätzung des Todeszeitpunktes

verwendet. Die nach Prof. Claus Henßge benannte Methode ist die am weitesten verbreitete, da sie schnell und einfach angewendet werden kann [11-16]. Zusätzlich wurde die Finite-Elemente-Methode [17,18] eingeführt, die weitaus komplexer in der Anwendung ist. Ein außerdem kürzlich beschriebenes thermodynamisches Finite-Differenzen-Modell, das auf der Hautthermometrie basiert, muss sich in der täglichen Praxis noch bewähren [19].

Finite-Elemente-Methode

Mall et al. entwickelten ein 3d-Modell des menschlichen Körpers und teilten dieses in unterschiedliche Gewebekompartimente auf. Dabei können unterschiedliche thermische Eigenschaften berücksichtigt werden. Zudem werden die supravitale Thermoproduktion und dynamische Umgebungsbedingungen berücksichtigt. Somit findet nicht nur die Wärmeabgabe, sondern auch die Wärmeproduktion Beachtung. Das Modell beruht auf der Finite Elemente Methode, die ein Objekt in viele kleine Teilobjekte wie z. B. Quader oder Tetraeder aufteilt. Das Verfahren ist verhältnismäßig aufwendig. Unter Standardbedingungen zeigte die Finite-Elemente-Methode gute Ergebnisse. [17,18]

Methode nach Henßge

Bei der Methode nach Henßge handelt es sich um die am weitesten verbreitete temperaturbasierte Methode zur Schätzung des Todeszeitpunkts.

Im Fall einer Anwendung mittels des sog. Henßge-Nomogramms ist zu bedenken, dass zwei verschiedene Nomogramme für Umgebungstemperaturen über beziehungsweise unter 23°C existieren.

Für die Anwendung der Methode nach Henßge müssen die Körperkerntemperatur (gemessen 8 cm ab ano) zum Auffindezeitpunkt, die (durchschnittliche) Umgebungstemperatur und das Körpergewicht in Kilogramm sowie die Rahmenbedingungen (v. a. Unterlage, Windeinfluss, Bekleidung) bekannt sein. Das Körpergewicht unterliegt vor der Anwendung einem Korrekturfaktor, der sich aus der Umgebungssituation wie etwa Luftstrom oder Feuchtigkeit, sowie der Bedeckung des Leichnams durch Kleidung oder ähnlichem zusammensetzt.

Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, wird bei der Methode nach Henßge immer von einer Körpertemperatur von 37,2°C zum Zeitpunkt des Todes ausgegangen [11,12,20,21,14,15].

Körpertemperatur zum Zeitpunkt des Todes – Stand der Wissenschaft

Körpertemperatur und Thermoregulation

Die generelle Annahme einer Körpertemperatur von 37,2°C zum Todeszeitpunkt ist gewagt. Auch die Körperkerntemperatur von Lebenden unterliegt deutlichen Schwankungen. Hierbei ist allgemein bekannt, dass Fieber oder eine Hypothermie z. B. durch externe Faktoren eine Abweichung bewirken können. Obermeyer et al. haben in einer groß angelegten Metaanalyse 243.506 Temperaturmessungen bei 35.488 Patienten ausgewertet, um eine Standardkörpertemperatur eines gesunden Menschen festzulegen [22]. Sie kamen hierbei auf durchschnittlich 36,6°C mit einem 95% Konfidenzintervall von 35,7°C – 37,3°C.

Der menschliche Körper unterliegt permanenter Thermoregulation. Diese ist notwendig, um bestimmte Funktionen, wie z. B. Sauerstofftransport, bestimmte Stoffwechselfunktionen und die Muskelaktivität bestmöglich ausführen zu können. Um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten, muss der menschliche Körper drei Funktionen erfüllen:

1. Fähigkeit zur Erhöhung der Körpertemperatur
2. Isolation gegenüber der Umwelt
3. Fähigkeit zur Senkung der Körpertemperatur.

Ausschlaggebend für die Regulation der Körperkerntemperatur ist der Hypothalamus. Dieser wird über temperatursensitive Neurone und Wärmerezeptoren der Haut stimuliert.

Um Wärme zu produzieren, laufen verschiedene energieverbrauchende Prozesse ab. Die willkürliche und unwillkürliche Kontraktion von Muskeln erzeugt Wärme, ebenso verschiedene Stoffwechselwege, wie z. B. die Lipolyse. Eine Vasokonstriktion vermindert den Verlust von Wärme über die Peripherie. Die

Haut sowie eine individuell verschieden ausgeprägte subkutane Fettschicht, bildet eine natürliche Isolation des Körpers.

Hauptsächlich erfolgt die Senkung der Körperkerntemperatur über eine Wärmeabgabe nach außen. Die wichtigsten Möglichkeiten des Körpers, dies zu erreichen, sind die Schweißproduktion und die Vasodilatation zur Verteilung der Wärme in die Peripherie.[23-25]

Körpertemperatur zum Todeszeitpunkt

Die Tatsache, dass die Körperkerntemperatur zum Sterbezeitpunkt von den angenommenen $37,2^{\circ}\text{C}$ abweichen kann, ist seit langem bekannt [10]. Wie oben beschrieben zeigte bereits Davy eine Abweichung bei Verstorbenen von den angenommenen $37,2^{\circ}\text{C}$ um zum Teil bis zu 8°C [10].

Eine vor kurzem durchgeführte Arbeit, die 25 Leichen auf einer neurochirurgischen Intensivstation hinsichtlich der Körpertemperatur untersuchte, ergab Körperkerntemperaturen zwischen $33,8^{\circ}\text{C}$ und $40,5^{\circ}\text{C}$ [26]. Diese Patienten verstarben an zentralnervösen Ursachen. Hierdurch kam es offensichtlich zu einer Thermodysgulation mit entsprechend starker Schwankung der Kerntemperatur.

Um Fehler in der Todeszeitbestimmung zu vermeiden, entwickelten Potente et al. ein statistisches Verfahren für die Todeszeitschätzung, bei dem mittels brute-force-Technik die Einflussfaktoren subjektiviert und fehlerhafte Messungen ausgeglichen werden. [27,28].

Potente und Biermann verfolgen zudem einen Ansatz, bei dem auf Grundlage der Nomogramm-Methode von Henßge eine Einengung des Intervalls erfolgt. Hierfür wird in ein Excel-Spreadsheet das errechnete Intervall eingetragen und dieses mit Ermittlungsergebnissen verknüpft. Diese Methode nennt sich conditional probability distribution (CPD) [29-31].

Beispiel für die Relevanz differierender Körpertemperaturen zum Sterbezeitpunkt
Werden nun in der temperaturgestützten Todeszeitschätzung nach Henßge Werte von 34°C und 40°C als Ursprungstemperatur in einer Beispielschätzung eingesetzt und wird jeweils eine Umgebungstemperatur von 20°C, bei einer rektal gemessenen Temperatur von 31°C und einem Körpergewicht von 80 kg, gewählt, ergibt sich eine Zeitspanne von 7 h (95% Toleranz 4 – 9,5 h; 34°C) bzw. von 13 h (95% Toleranz 10,5 – 16 h; 40°C). Auch unter Berücksichtigung der zweifachen Standardabweichung besteht somit keine Schnittmenge mehr und die Relevanz einer von 37,2°C (erheblich) abweichenden Körperkerntemperatur wird leicht verständlich.

Ziele der Arbeit

Die folgenden Fragen sollten beantwortet werden:

- a) Bei welchen Körperkerntemperaturen sterben die Patienten?
- b) Ist ein Körperkerntemperaturintervall für bestimmte Gruppen von Todesursachen definierbar?
- c) Welche medizinischen Verfahren haben welchen Einfluss auf die Körperkerntemperatur?

Ethikvotum

Die Studie wurde der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Vorfeld zur Überprüfung vorgelegt. Ein positives Ethikvotum liegt vor:

Studiennummer: 2019-480

Datum: 12.08.2019

Core body temperatures during final stages of life – an evaluation of data from in-hospital-decedents

Scheidemann, P, Schwender, H, Ritz, S, Kindgen-Milles, D, Hartung, B: Core body temperatures during final stages of life – an evaluation of data from in-hospital-decedents. *Int. J. Legal Med.*, 136, 1341-1350 (2022).

<https://doi.org/10.1007/s00414-022-02837-7>



Core body temperatures during final stages of life—an evaluation of data from in-hospital decedents

Patrick Scheidemann¹ · Holger Schwender² · Stefanie Ritz-Timme¹ · Detlef Kindgen-Milles³ · Benno Hartung⁴

Received: 19 January 2022 / Accepted: 25 April 2022
© The Author(s) 2022

Abstract

Temperature-based methods are widely accepted as the gold standard for death time estimation. In the absence of any other information, the nomogram method generally assumes that a person died with a core body temperature of approximately 37.2 °C. Nevertheless, several external and internal factors may alter the body temperature during agony. A retrospective medical record analysis was carried out on in-hospital death cases from two consecutive years of surgical intensive care units to determine the effects of factors influencing the core body temperature at the point of death. Data from 103 case files were included in the statistical data evaluation. The body temperature fluctuated between and within individuals over time. No clear correlation to certain death groups was observed. Even primary cardiac deaths showed broad intervals of temperatures at the point of death. Men seem to die with higher body temperatures than women. The presented data highlight potential biases for death time estimations when generally assuming a core body temperature of 37.2 °C. In conclusion, the estimation of the time of death should include various methods, including a non-temperature-dependent method. Any uncertainties regarding the body temperature at point of death need to be resolved (e.g. by identifying fever constellations) and elucidated if elimination is not possible.

Keywords Death time · Estimation · Temperature · Agony · Influence factors · Nomogram

Introduction

The time since death estimation can be of elementary importance for the investigation procedure. The gold standard approach relies on observations of body cooling behaviour, which follows scientific principles.

As early as 1829, Davy described his observations on the temperature of the human body after death. He measured temperatures from 82 to 113 °F (about 27.8 to 45 °C) between 3 and 29 h post mortem [1]. Individuals exhibited pre-death fevers, so it was assumed that the cause of death

affected the temperature at the time of death, which lasted into the post mortem period. Davy developed the first ideas on the use of post mortem body temperature: “It may often be a question, how long a body has been dead. By attention to its temperature, particularly of the deep-seated parts, taking into consideration the circumstances affecting temperature, probably most instances an answer may be given approximating to the truth and which may be of considerable use in evidence”.

Two main temperature-dependent methods are available for forensic purposes. The nomogram method is most widely used as it can be applied fast and easily [2–5]. Additionally, the finite element method [6, 7] was introduced which is far more complex to apply. A recently described thermodynamic finite difference model based on skin thermometry has yet to prove itself in daily practice [8].

Unless explicitly stated otherwise, the nomogram method always assumes a body temperature of 37.2 °C at the time of death [2, 3, 5, 9–11].

However, the general assumption of a body temperature of 37.2 °C at the time of death is sometimes daring. The fact that core body temperatures may deviate from assumed

✉ Benno Hartung
benno.hartung@med.uni-duesseldorf.de

¹ Institute of Legal Medicine, University Hospital Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

² Mathematical Institute, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Germany

³ Department of Anesthesiology, University Hospital Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

⁴ Institute of Legal Medicine, Ludwig Maximilians University, Munich, Germany

37.2 °C is long known [1], and also a recent examination of 25 bodies with leading causes of death in a neurosurgical intensive care unit revealed core body temperatures at the time of death of between 33.8 and 40.3 °C [12].

In this respect, the question arises whether the baseline body temperature of a deceased person may have been subject to fluctuations during agony, and the diseases or external influences that may determine the body temperature at the time of death.

Since the temperature at the point of death has a crucial influence on the time since death estimation, especially during the first few hours after death [13], the following questions were addressed using a controlled clinical setting:

- At what core body temperatures do patients die?
- Is a core body temperature interval definable for specific groups of causes of death?
- Which medical procedures have which influence on core body temperature?

The study was approved by the ethics committee of the University of Düsseldorf (study number: 2019–480).

Material and methods

Medical data

In an effort to answer the questions above, a retrospective medical record analysis of patients who died in the surgical intensive care units of the University Hospital Düsseldorf in 2017 and 2018 was performed.

The following parameters from the last 24 h before death were recorded:

- core body temperature (recorded maximum hourly),
- age and sex,
- height and weight,
- cause of death and comorbidities,
- blood pressure and pulse (maximum hourly),
- haemoglobin concentration (maximum hourly),
- infusions, transfusions, administered medication, and
- medical measures (extracorporeal life support resp. ECLS, dialysis, surgery, urinary bladder rinsing).

The data had been recorded on curve sheets in handwritten form during treatment and were not accessible to machine evaluation. Vital signs including temperature were documented hourly in most cases. With a length of stay of more than 1 day, an average of 24 documented values was available.

The temperature of the patients was derived using a temperature probe via a bladder catheter of the type “Teleflex

Rüsch Sensor”. According to the manufacturer, these sensors have an accuracy of +0.1 °C and –0.2 °C [14].

The cause of death (as documented in the death certificate) was assigned to different categories analogous to Preuß-Wössner et al. [15] (Table 1).

Statistical analysis

Differences between death categories

Depending on whether the normality and/or the homogeneous variance assumption of the one-way ANOVA (analysis of variance) were violated or not, a one-way ANOVA, a Welch ANOVA not assuming equal variances in the different groups, or a Kruskal–Wallis test was used to test whether the values of the considered factor differs between the different death categories.

Post hoc tests (*t*-test, Mann–Whitney test) were applied to analyse differences between the death categories.

Differences between age groups

Without considering the category of death, it was tested whether there was a difference in temperature at the time of death between the age groups 4–20, 21–40, 41–60, 61–80, and 81–98 years. For this purpose, the above-mentioned multi-group tests were used. Since there were only a few persons under the age of 40, which negatively affected the results of the tests, we performed two analyses: (1) all five above-mentioned groups were analysed and (2) only the age groups of 41–60, 61–80, and 81–98.

Since age and temperature were not normally distributed, Kendall’s tau was applied to analyse the correlation between age and temperature.

Table 1 Allocated death categories (as documented in the death certificate) (derived from [15])

Bleeding or bleeding complication
Septic multi-organ failure (e.g. pneumonia, peritonitis)
Cardiac genesis (e.g. myocardial infarction, cardiac insufficiency)
Circulatory failure (e.g. pulmonary embolism, peripheral arterial occlusion)
Liver failure (e.g. liver metastases, hepatic vascular disturbance)
Kidney failure (e.g. renal insufficiency)
Respiratory insufficiency (e.g. pulmonary metastases, pleura empyema)
Cerebral hypoxia (e.g. after near-drowning, after myocardial infarction)

Differences between sexes

Excluding the category of death, it was tested whether there was a temperature difference at the time of death between the sexes. Since two groups were compared here, a *t*-test was performed assuming that the variances in both groups were identical.

Results

In 2017 and 2018, 436 patients died in both intensive care units. Temperature measurements within the last 24 h post mortem of deceased persons, who were not externally warmed or cooled, were available in 149 cases.

A total of 284 deceased patients presented incomplete data that could be used to correlate body temperature with vital signs, intravenous administration of fluids, and haemoglobin.

Temperature measurements of non-cooled and non-warmed deceased persons within the last 24 h ante mortem were available in 149 cases.

One hundred five cases had temperatures records within the last 2 h before death. Since circulatory failure and kidney failure contained only one person each, these categories were not included in the analyses. If not stated otherwise, the remaining 103 cases were included in the final statistical evaluation.

Fifty percent of the deceased persons were 61 to 82 years old (median 74 years; range 4 to 98 years) (Fig. 1).

Among those 103 cases evaluated here, body weight was recorded in 97 cases (61 males, 36 females). Body height was recorded in 95 cases (59 males, 36 females). Median BMI was 26 for men (range: 13–45) and 24 for women (range 12–39).

No statistical significance was found between the body temperatures measured within a maximum of 2 h ante mortem in the above-mentioned five resp. three age groups (analysis of variance without assumption of equal variances: 0.27 resp. 0.26).

Most causes of death were allocated to the group “septic multi-organ failure” ($n=36$). Primary cardiac causes of death (“cardiac genesis”) made up the second largest group ($n=25$). Bleeding resp. bleeding complications and pulmonary causes of death (“respiratory insufficiency”) represented other larger groups ($n=19$ resp. 15) (Fig. 2).

The range of the last temperature measurements’ results within the last 2 h before death is presented in Fig. 2, too. The cardiac causes of death show a particularly wide range, especially towards subnormal levels. Bleeding or bleeding complications present very inhomogeneous temperatures at death, too.

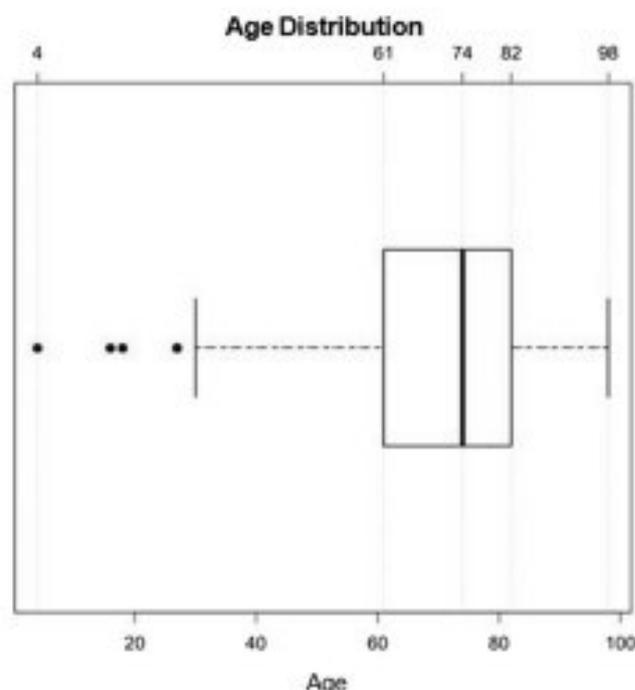


Fig. 1 Age distribution (years) of the included deceased persons. Box contains 50% of the tested persons, the line inside the box indicates the respective median, and the satellites and individual outliers indicate 25% of the tested persons. Outliers are presented as dots. Total $n=103$

Very old persons (> 80 years) were overrepresented in the death group “septic multi-organ failure”, while seniors between 61 and 80 years were overrepresented in the “cardiac genesis” death group (Fig. 3).

There was no statistical significance between the different death categories and the body temperatures measured within a maximum of 2 h ante mortem (ANOVA: 0.61).

Intraindividual fluctuations in body temperature regularly occurred. The median fluctuation during the last 24 h ante mortem was more than 1 °C ($n=149$). Singular deviations of several degrees (up to 6 °C) occurred (Fig. 4).

It is noteworthy that variations in body temperature of more than 1.5 °C ($n=52$) were found in all groups, with the group of septic causes of death being obviously overrepresented (Fig. 5).

The average core body temperature was mainly around 37.2 °C. The partially extreme interindividual fluctuations (spikes) must explicitly be pointed out here (Fig. 6).

Both systolic (Fig. 7) and diastolic blood pressure, and heart rate dropped significantly in the last hours before death. Regarding blood pressure, this effect could be observed within the last 3 h ante mortem, however, only within the last 1/2 h with regard to the heart rate (Fig. 8).

When looking at the correlations of systolic and diastolic blood pressure, pulse, haemoglobin, and

Final temperature measurement at least 2 hours ante mortem

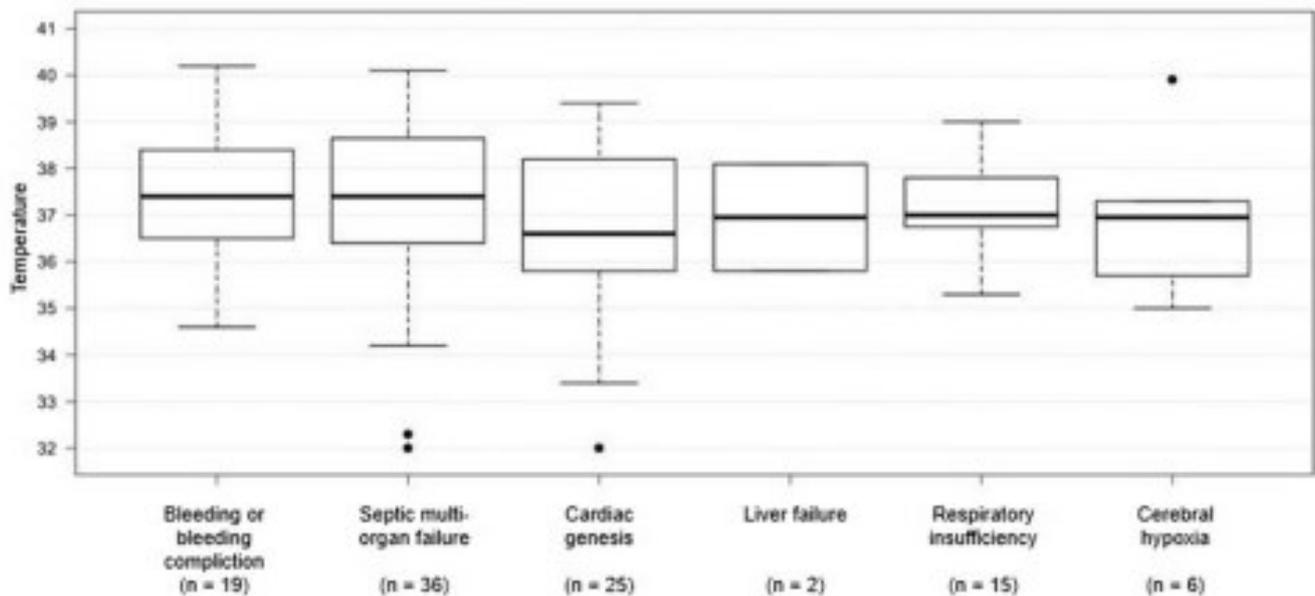


Fig. 2 Death groups (x-axis), numbers of assigned deceased individuals (without external heating or cooling), and the final measured body temperature within 2 h ante mortem (°C, y-axis). Numbers are presented below each column. Total $n = 103$

Death categories by age groups

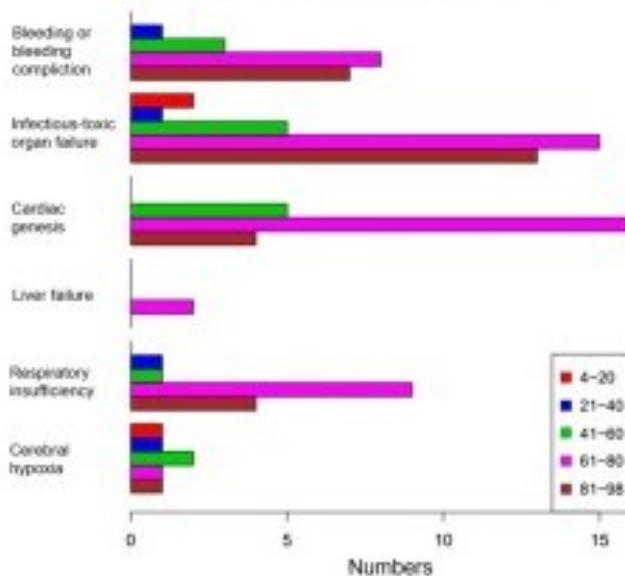


Fig. 3 Death categories by age groups (number; x-axis). Red: 4–20 years, blue: 21–40 years, green: 41–60 years, pink: 61–80 years, and brown: 81–98 years

intravenously administered liquids with temperature using Pearson correlation coefficient, low positive and negative median correlations can be seen. For example, the pulse has a median correlation coefficient of about 0.25 with temperature (Fig. 9).

Maximum variation of intraindividual temperature

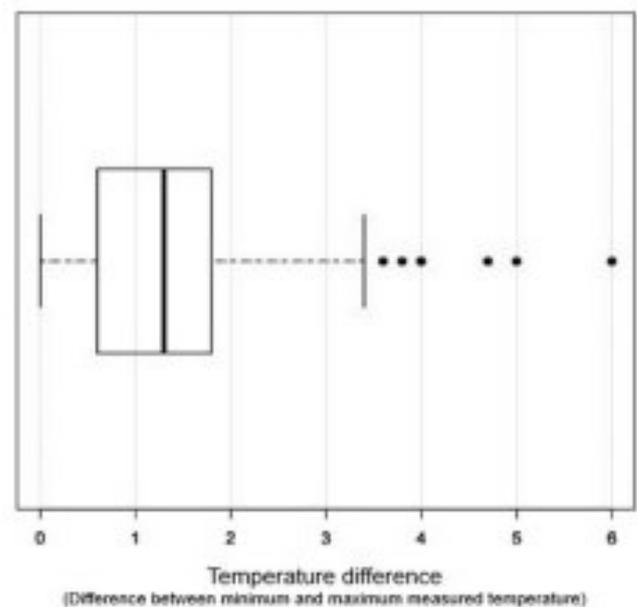


Fig. 4 Intraindividual fluctuation of the body temperature (°C) during the last 24 h ante mortem. Total $n = 149$

When considering the death group “septic multi-organ failure” only, a broad range of body core temperatures can be seen, especially in the last few hours before death despite a controlled intensive care clinical setting with antipyretic and antibiotic medication (Fig. 10).

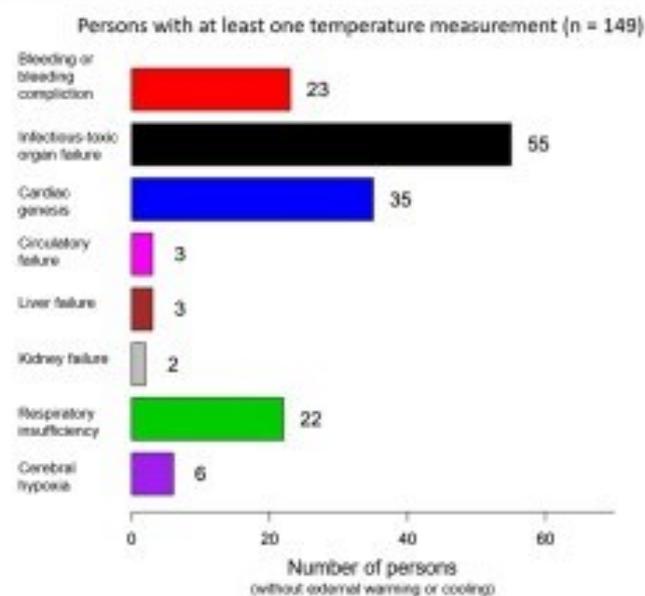


Fig. 5 Number of persons in distinctive death groups with fluctuation of the body temperature of more than 1.5 °C in the last 24 h ante mortem

The death group “cardiac genesis” shows a slight median decrease of body core temperature towards death (Fig. 11). Even though no fever constellations are included here, broad ranges are evident here, too.

Sex specific evaluations showed higher body temperatures in men than in women at the time of death (*t*-test for

all temperatures obtained in the last 2 h ante mortem: 0.02; $n_{male} = 170$; $n_{female} = 107$).

The influence of therapy by ECLS or bladder irrigation on body temperature could not be addressed, because these therapies included external heating or cooling in most cases.

Discussion

Core body temperatures may deviate from the assumed 37.2 °C prior to death [1, 12], and its effect on death time estimation has already been examined thermodynamically. It could be demonstrated that temperature biases affect death time estimation most intensely in the first few hours post mortem [13]. Muggenthaler et al. showed that at a body temperature of 41 °C at the point of death, a temperature of 37.2 °C (at an ambient temperature of 18 °C) is reached after about 5 h post mortem [13]. As it could be shown here, the core body temperature can rise as well as fall shortly before death. Considering all deceased persons, the average body temperature was around 37.2 °C which seems justified for in-hospital decedents, if externally warmed or cooled persons are excluded. However, the extreme interindividual fluctuations (spikes) must explicitly be emphasised here (Fig. 6). Of note, temperature measurements presented here were performed mainly in the urinary bladder. This measurement method is considered a standardised method for permanent temperature measurement in critically ill patients [16]. Lefrant et al.

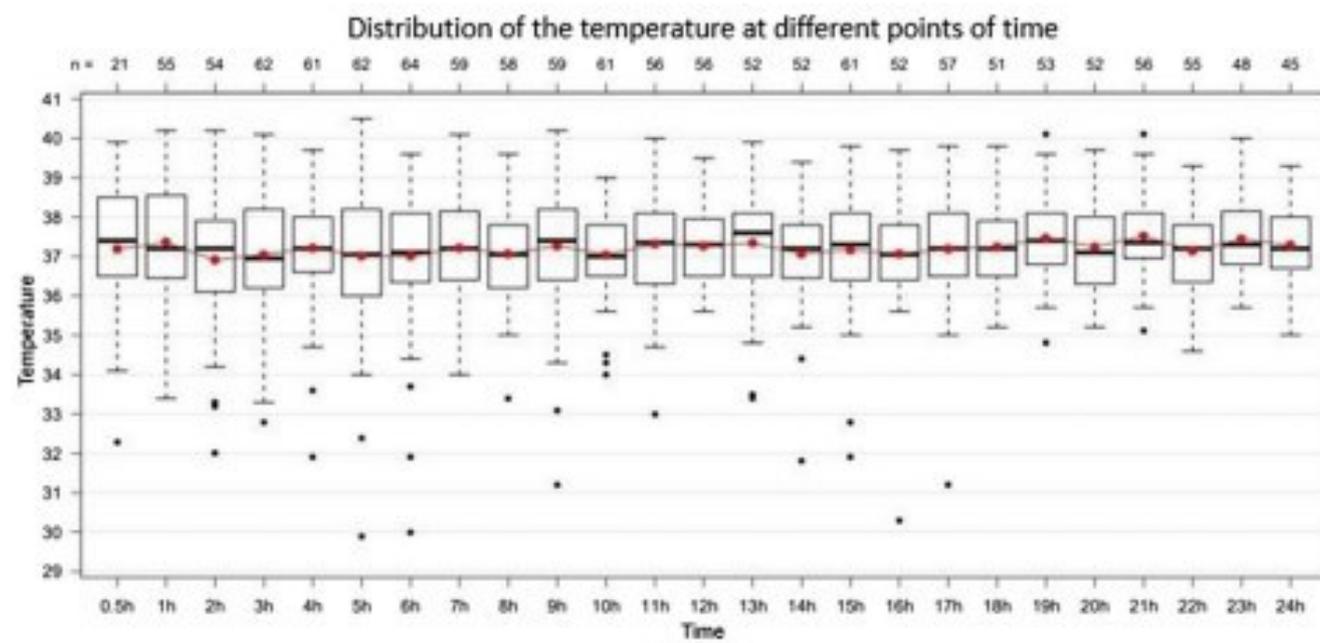


Fig. 6 Fluctuation of the body temperature (°C; y-axis) during the last 24 h of life (hours ante mortem; x-axis). The red dots indicate average values. Total $n = 103$

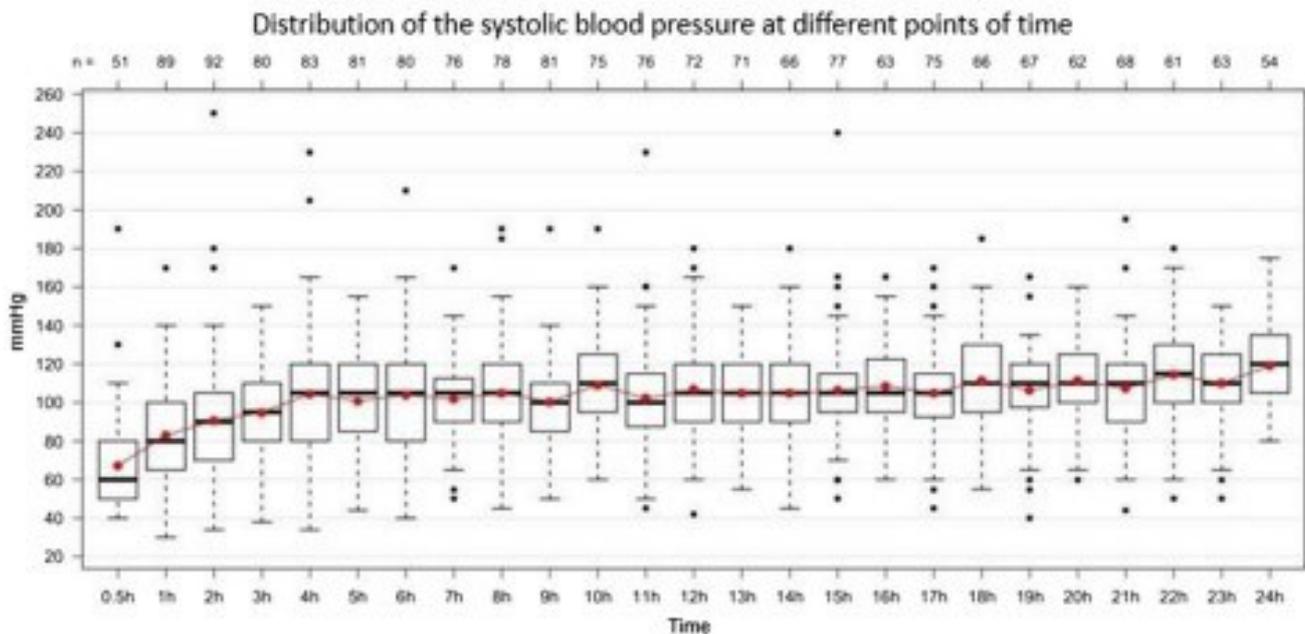


Fig. 7 Fluctuation of the systolic blood pressure (mmHg; y-axis) during the last 24 h of life (hours ante mortem; x-axis). Total $n = 103$

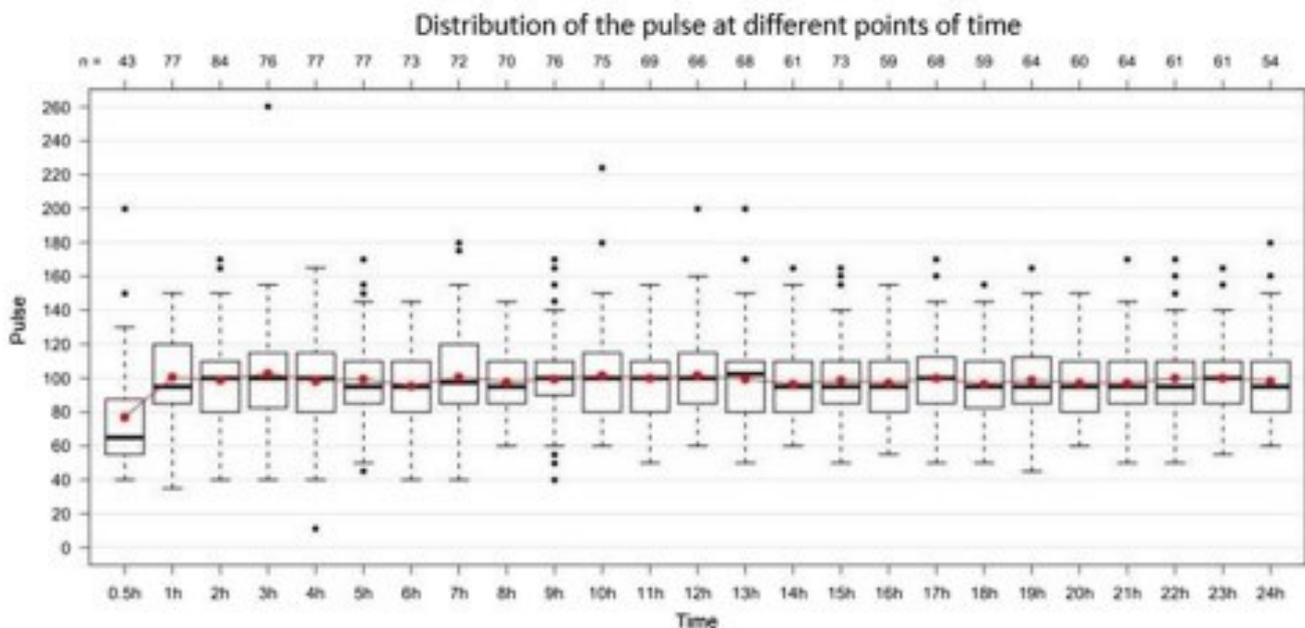


Fig. 8 Fluctuation of the pulse (bpm; y-axis) during the last 24 h of life (hours ante mortem; x-axis). Total $n = 103$

showed that rectal and bladder temperatures had a deviation of -0.07 ± 0.40 °C and -0.21 ± 0.20 °C, respectively, from pulmonary artery temperature [17]. Mravinac et al. also compared rectal and bladder temperature with pulmonary artery temperature. They found a higher correlation between pulmonary artery and bladder temperature than

between pulmonary artery and rectal temperature [18]. Thus, there are generally minor differences between the two measurement methods. Nevertheless, bladder temperatures may be altered in patients with kidney failure and can lag behind body core temperatures during fast body core temperature alterations [19].

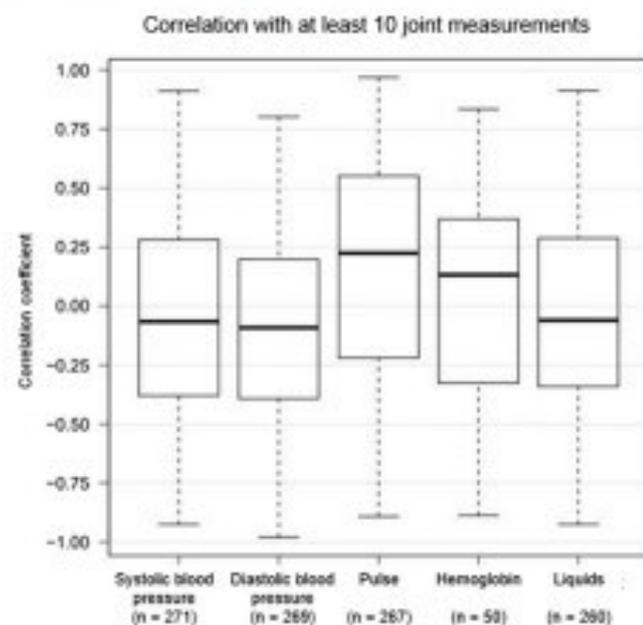


Fig. 9 Correlation of vital signs, hemoglobin, and intravenously administered fluids (x-axis) with temperature in subjects who had at least 10 contemporaneous responses of temperature and the corresponding variable ($n=284$). Data according to Pearson's correlation coefficient (y-axis). The numbers of observations are presented below each column

For the estimation of time since death estimation, it is paramount to identify factors that could affect core body temperature. Some authors estimated that approximately

10% of violent deaths are associated with hyperthermia [20]. Acute psychosocial stress (standardised laboratory stress task; Trier social stress test) is said to have a decreasing (sic!) effect on intestinal temperature, at least on upper gastrointestinal areas [21]. Acute psychosocial stress should be present in even more than 10% of all violent and thus forensically relevant deaths.

Obermeyer et al. [22] performed a meta-analysis of basal body temperatures that considered data from 35,488 living individuals who were neither suffering from infection nor had they been under antibiotic administration. The body temperatures were measured orally in 88.2%. The average temperature was 36.6 °C with a 95% confidence interval of 35.7–37.3 °C (99% range: 35.3–37.7 °C). The authors demonstrated that body temperature correlates with a range of demographic factors, accompanying comorbidities, and physiological conditions. Even the basal body temperature was correlated with mortality. Interestingly, body temperature was generally lower in summer than in winter months under comparable surrounding conditions (e.g. 0.08 °C difference between July and February). In line with these data from living individuals, it could be demonstrated that both blood pressure and pulse are slightly positively or negatively correlated with body temperature.

To avoid errors in Henssge's temperature measurement method, Potente et al. suggest a procedure in which brute force calculations can be used to generate the parameters

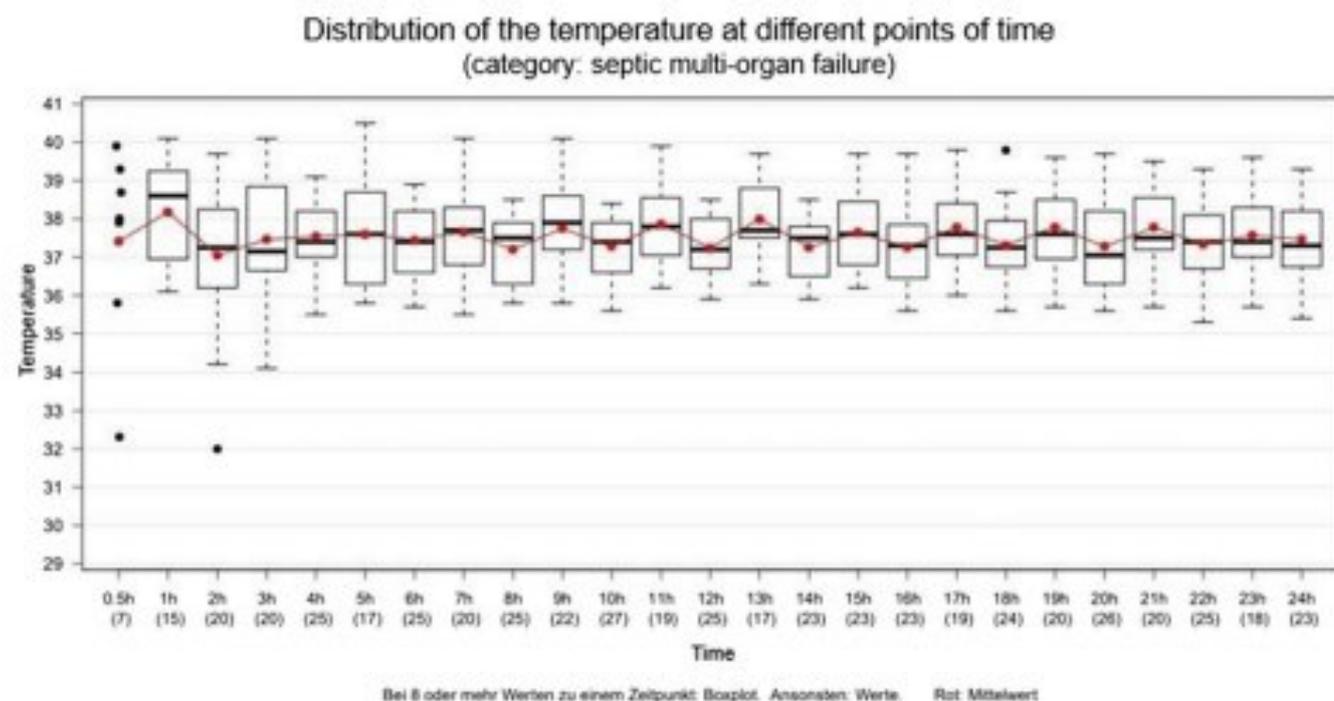


Fig. 10 Fluctuation of the body temperature (°C; y-axis) during the last 24 h of life (hours ante mortem; x-axis). Total $n=36$

Distribution of the temperature at different points of time
(category: cardiac genesis)

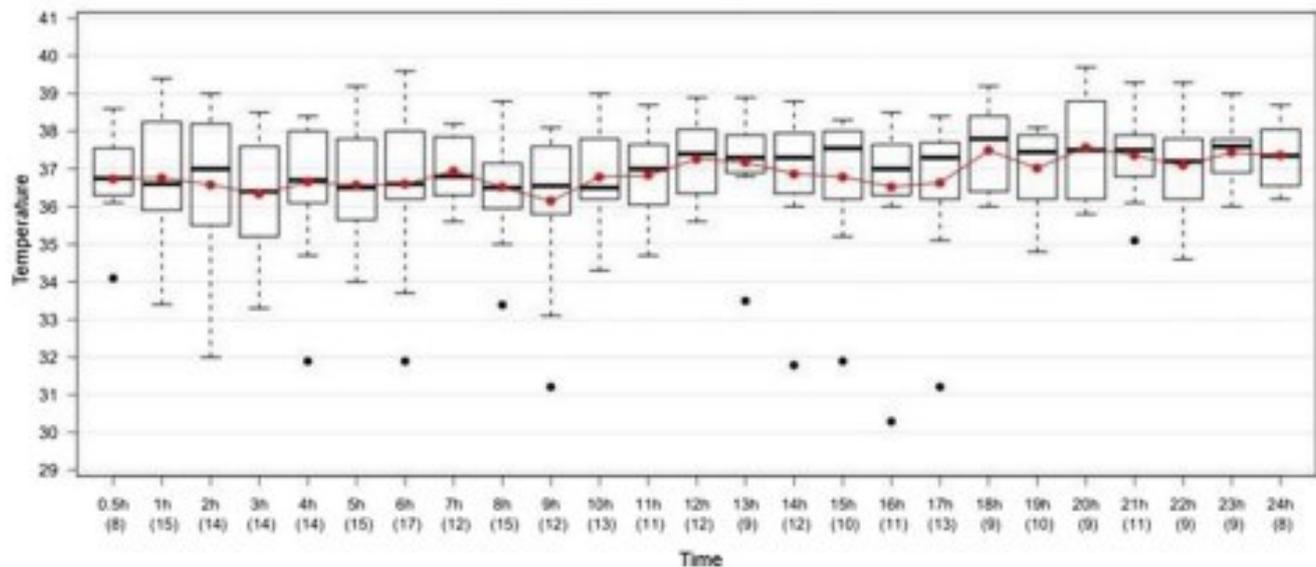


Fig. 11 Fluctuation of the body temperature (°C; y-axis) during the last 24 h of life (hours ante mortem; x-axis). Total $n = 25$

relevant to the calculations. This method may be helpful both scientifically and in practice in the future [23].

The influence of individual medications on body temperature could not be evaluated due to the many different medications and drug combinations administered on the intensive care unit.

The results presented here do not seem too promising to ease temperature-based death time estimation. Intra- and interindividual variations are immense, and they do not seem easily predictable, at least not for the presented death groups of surgical intensive care units.

Of course, one can raise the question to what extent the collective studied here reflects forensic reality. Thereby, it has to be kept in mind that at least two of the larger death groups (“cardiac genesis” and “bleeding/bleeding complications”) are common in the daily routine when death time estimation might be necessary. However, the finding is in line with Muggenthaler et al. who conducted a cooling study with 84 decedents. The spectrum of causes of death was said to be a typical subset of sudden death cases of forensic practice. The initial, partially delayed measurements of body temperatures varied between 31.1 and 38.7 °C. The authors highlighted that hypo- and hyperthermia occur quite regular in forensic death time estimation [24].

The results also indicate that men die with higher body temperatures than women do. As this finding is based on small observation groups, it should be re-evaluated in a more extensive data set. Gender-specific differences might at least be partially explainable by the different body weight resp. BMI. In our evaluation, median BMI

was 26 for men (range: 13–45) and 24 for women (range 12–39).

Conclusion

Limiting the possible interval of the deceased person’s body temperature at the time of death may be troublesome, but it is advisable in any case. Therefore, a first guess at the crime scene should be uttered with utmost restraint.

Medical history and results of histologic and toxicological examinations should be known for providing a second, more reliable guess. Histologic examinations might reveal fever constellations, and both medical history and toxicologic examinations might indicate temperature-affecting medication or diseases.

Generally, estimation of time since death should not be based on a single but different methods.

Limitations

The work is limited by three factors in particular.

First, the division into groups had to be solved pragmatically with regard to the nature of death. Some cases could with some justification also be classified in other groups (e.g. cerebral hypoxia after myocardial injury could also have been attributed to “cardiac genesis”).

Second, we studied hospital decedants only. Therefore, it is questionable whether and to what extent our conclusions are valid for typical forensic cases outside the hospital.

Third, although bladder temperature is equated with rectal temperature in the field of intensive care medicine, rectal temperature is mainly used in the context of forensic medicine to determine core body temperature. Results from bladder temperature measurements should be interpreted with caution.

Acknowledgements We thank Theresa Lara Henssen for her kind language editing of the manuscript.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Declarations

Research involving human participants and/or animals This study includes research involving human participants. The study protocol was approved by the ethics committee of the University Hospital Düsseldorf (study-number: 2019–480).

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Davy J (1829) Observations on the temperature of the human body after death. *Trans Med Chir Soc Edinb* 3(Pt 2):580–592
- Henssge C, Madea B (2004) Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Sci Int* 144(2–3):167–175. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.04.051>
- Henssge C (1988) Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram. *Forensic Sci Int* 38(3–4):209–236. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(88\)90168-5](https://doi.org/10.1016/0379-0738(88)90168-5)
- Henssge C, Madea B (1988) Determination of the time since death. I. Body heat loss and classical signs of death. An integrated approach. *Acta Med Leg Soc (Liege)* 38(1):71–89
- Henssge C (1979) Die Präzision von Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung. *Z Rechtsmed* 83(1):49–67. <https://doi.org/10.1007/bf00201311>
- Mall G, Eisenmenger W (2005) Estimation of time since death by heat-flow finite-element model. Part I: method, model, calibration and validation. *Leg Med (Tokyo)* 7(1):1–14. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2004.06.006>
- Mall G, Eisenmenger W (2005) Estimation of time since death by heat-flow finite-element model part II: application to non-standard cooling conditions and preliminary results in practical casework. *Leg Med (Tokyo)* 7(2):69–80. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2004.06.007>
- Wilk LS, Hoveling RJM, Edelman GJ, Hardy HJJ, van Schouwen S, van Venrooij H, Aalders MCG (2020) Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis. *Sci Adv* 6(22):eaba4243. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba4243>
- Henssge C, Althaus L, Bolt J, Freisleder A, Haffner HT, Henssge CA, Hoppe B, Schneider V (2000) Experiences with a compound method for estimating the time since death. I. Rectal temperature nomogram for time since death. *Int J Legal Med* 113(6):303–319. <https://doi.org/10.1007/s004149900089>
- Henssge C, Althaus L, Bolt J, Freisleder A, Haffner HT, Henssge CA, Hoppe B, Schneider V (2000) Experiences with a compound method for estimating the time since death. II. Integration of non-temperature-based methods. *Int J Legal Med* 113(6):320–331. <https://doi.org/10.1007/s004149900090>
- Henssge C, Madea B, Gallenkemper E (1988) Death time estimation in case work. II. Integration of different methods. *Forensic Sci Int* 39(1):77–87. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(88\)90120-x](https://doi.org/10.1016/0379-0738(88)90120-x)
- Bovenschen M, Schwender H, Ritz-Timme S, Beseoglu K, Hartung B (2021) Estimation of time since death after a post-mortem change in ambient temperature: evaluation of a back-calculation approach. *Forensic Sci Int* 319:110656. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110656>
- Muggenthaler H, Hubig M, Schenk S, Mall G (2017) Influence of hypo- and hyperthermia on death time estimation - a simulation study. *Leg Med (Tokyo)* 28:10–14. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.06.005>
- Rüsch Sensor - transurethral catheter for temperature measurement (2009) http://www.vitalmedikal.com/Uploads/images/product/ysi-yonetimi/pdf/Katalog%20940461-000001_Ruesch_Sensor_en-2009.pdf. Accessed 18.01.2022
- Preuß-Wössner J, Spieß J, Meißner C, Lignitz E (2018) Die Qualität der ärztlichen Leichenschau bei fraglich iatrogenen Todesfällen in Krankenhäusern im Einzugsgebiet des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Kiel. *Rechtsmedizin* 28(5):389–397. <https://doi.org/10.1007/s00194-018-0250-x>
- Fallis WM (2002) Monitoring urinary bladder temperature in the intensive care unit: state of the science. *Am J Crit Care* 11(1):38–45; quiz 47
- Lefrant JY, Muller L, de La Coussaye JE, Benhabali M, Lebris C, Zeisoun N, Mari C, Saissi G, Ripart J, Eledjam JJ (2003) Temperature measurement in intensive care patients: comparison of urinary bladder, oesophageal, rectal, axillary, and inguinal methods versus pulmonary artery core method. *Intensive Care Med* 29(3):414–418. <https://doi.org/10.1007/s00134-002-1619-5>
- Mravinač CM, Dracup K, Clochesy JM (1989) Urinary bladder and rectal temperature monitoring during clinical hypothermia. *Nurs Res* 38(2):73–76
- Wagner M, Lim-Hing K, Bautista MA, Blaber B, Ryder T, Haymore J, Badjatia N (2021) Comparison of a continuous noninvasive temperature to monitor core temperature measures during targeted temperature management. *Neurocrit Care* 34(2):449–455. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-01036-9>
- Demierre N, Wyler D, Zollinger U, Bolliger S, Plattner T (2009) Elevated body core temperature in medico-legal investigation of violent death. *Am J Forensic Med Pathol* 30(2):155–158. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e31819a04a6>
- Vinkers CH, Penning R, Hellhammer J, Verster JC, Klaessens JH, Olivier B, Kalkman CJ (2013) The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans. *Stress* 16(5):520–530. <https://doi.org/10.3109/10253890.2013.807243>
- Obermeyer Z, Samra JK, Mullainathan S (2017) Individual differences in normal body temperature: longitudinal big data analysis of patient records. *BMJ* 359:j5468. <https://doi.org/10.1136/bmj.j5468>

23. Potente S, Henneicke L, Schmidt P (2021) Prism - a novel approach to dead body cooling and its parameters. *Forensic Sci Int* 325:110870. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110870>
24. Muggenthaler H, Sinicina I, Hubig M, Mall G (2012) Database of post-mortem rectal cooling cases under strictly controlled conditions: a useful tool in death time estimation. *Int J Legal Med* 126(1):79–87. <https://doi.org/10.1007/s00414-011-0573-6>

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Zusätzliche Ergebnisse

In der vorliegenden Publikation mit dem Titel „Core body temperatures during final stages of life – an evaluation of data from in-hospital-decedents“ wurden von den 436 untersuchten Fällen 103 Fälle in alle Auswertungen eingeschlossen. Zusätzlich wurden dieselben Analysen in den 392 Fällen durchgeführt, bei denen mindestens eine Temperaturmessung in der Agonie, was in diesem Fall die letzten 24 Stunden vor dem Tod bedeutet, erfasst wurde. Hierin sind die Personen enthalten, die extern gewärmt und gekühlt wurden, sowie die oben angegebenen 103 bereits ausgewerteten Datensätze. Bei den übrigen 44 Fällen wurden keine Temperaturmessungen dokumentiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen ergänzt. Sollte keine anderweitige Zahl genannt sein, beziehen sich die folgenden Ergebnisse auf die untersuchten 392 Fälle.

Zusammenhang zwischen erreichtem Lebensalter und agonal gemessener Körpertemperatur

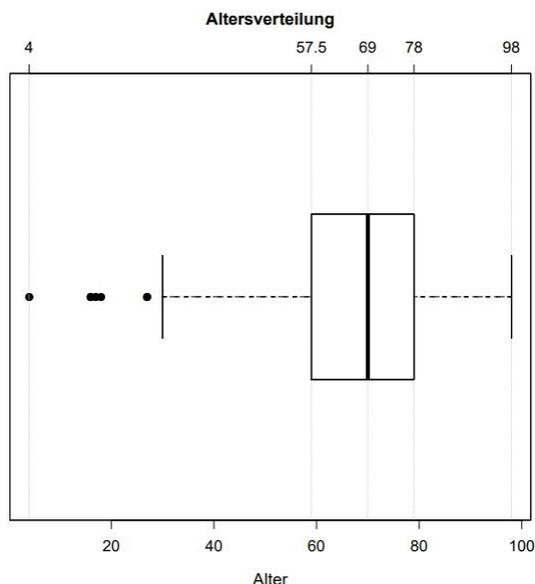


Abb. 1 Altersverteilung (Jahre) der einbezogenen verstorbenen Personen. Der Kasten enthält 50 % der untersuchten Personen, die Linie innerhalb des Kastens gibt den jeweiligen Median an, und die Satelliten bezeichnen 25 % der untersuchten Personen. Ausreißer sind als Punkte dargestellt.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung nach Alter der untersuchten Personen. Von den insgesamt 392 einbezogenen Verstorbenen befindet sich der Altersmedian bei 69 Jahren. Fünfzig Prozent der verstorbenen Personen lagen mit ihrem Alter in einer Spannbreite von 57,5 bis 78 Jahren. Das Maximum lag bei 98 Jahren, das Minimum bei 4 Jahren.

Unter diesen 392 Verstorbenen befanden sich 371, bei denen das Körpergewicht dokumentiert wurde (229 Männer, 142 Frauen). Der Mittelwert des Körpergewichtes lag bei 73,4 kg bei den Frauen und 85,5 kg bei den Männern. Bei 366 Personen wurde die Körperlänge dokumentiert (226 Männer, 140 Frauen). Hier lag der Mittelwert bei den Frauen bei ca. 163,3 cm und bei den Männern bei ca. 176,8 cm. Daraus ergibt sich ein gemittelter BMI von jeweils 27 bei Männern und Frauen mit einer Spannbreite bei den Männern von 13 – 54 und bei den Frauen von 12 – 62.

Bei insgesamt 277 Verstorbenen wurde in den letzten 2 h ante mortem die Körpertemperatur erfasst. Hiervon waren 5 Personen im Alter zwischen 4 und 20 Jahren, 12 Personen im Alter zwischen 21 und 40 Jahren, 58 Personen im Alter zwischen 41 und 60 Jahren, 146 Personen im Alter zwischen 61 und 80 Jahren sowie 56 Personen zwischen den 81 und 98 Jahren.

Auch hier wurden die folgenden Tests einmal unter Berücksichtigung aller fünf Altersgruppen und einmal unter Verwendung der drei älteren Altersgruppen durchgeführt. Dabei ergaben sich folgende p-Werte:

Es wurde keine statistische Signifikanz zwischen den Körpertemperaturen, die innerhalb von maximal 2 h ante mortem in den oben genannten fünf bzw. drei Altersgruppen gemessen wurden (Varianzanalyse ohne Annahme gleicher Varianzen: 0.27 bzw. 0.26).

Einteilung nach Todesursachen

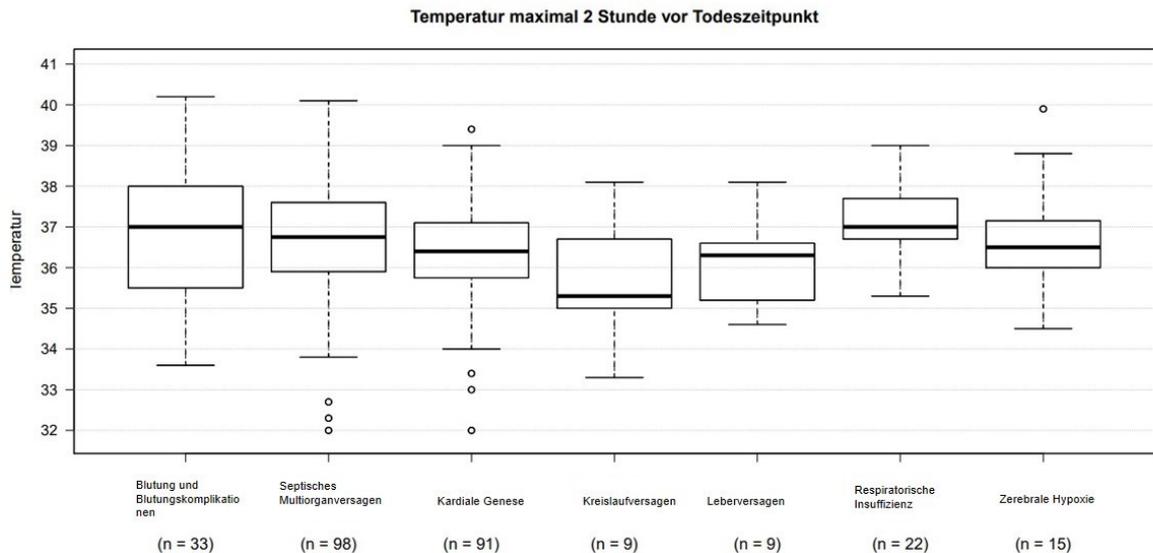


Abb. 2 Einteilung nach Todesursache (x-Achse), Anzahl der zugeordneten verstorbenen Personen und die innerhalb von 2 Stunden ante mortem gemessene Körpertemperatur (°C, y-Achse). Die Zahlen sind unter jeder Spalte angegeben. Gesamt n = 277

Die meisten Todesursachen waren der Gruppe "septisches Multiorganversagen" zuzuordnen (n=98). Primäre kardiale Todesursachen ("kardiale Genese") bildeten die zweitgrößte Gruppe (n=91). Blutungen bzw. Blutungskomplikationen und pulmonale Todesursachen ("respiratorische Insuffizienz") stellten weitere größere Gruppen dar (n=33 bzw. 22) (Abb. 2).

Abbildung 2 zeigt des Weiteren die Verteilung der gemessenen Temperaturen innerhalb der letzten 2 Stunden vor Eintritt des Todes innerhalb der Gruppen der Todesursachen. Hierbei zeigt sich unter Berücksichtigung der Ausreißer insbesondere bei primär kardialer Todesursache und dem septischen Multiorganversagen eine breite Spanne bei teils sehr hypothermischen Werten. Auch bei den Blutungen bzw. Blutungskomplikationen liegen die gemessenen Werte in einem sehr breiten Spektrum.

Todesursachen nach Altersgruppen

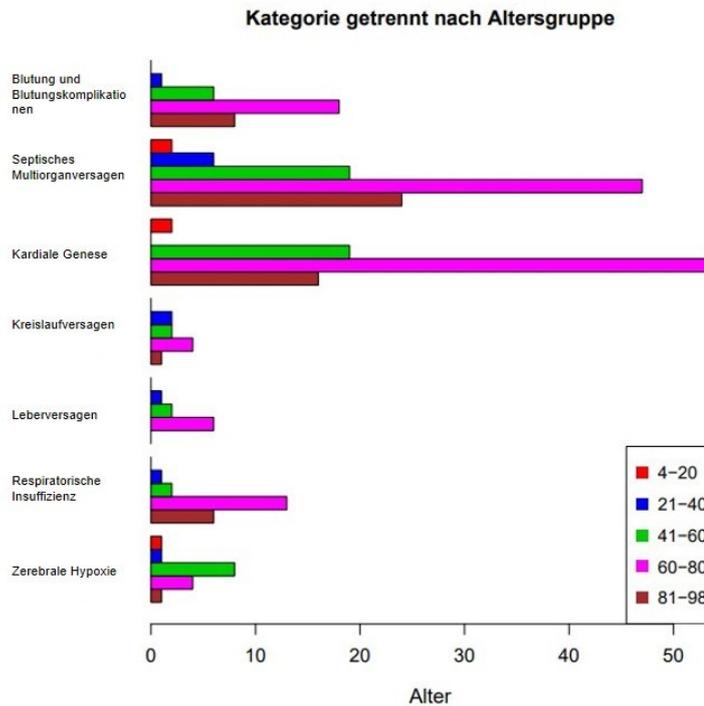


Abb. 3 Todesursachenkategorien nach Altersgruppen (Anzahl; x-Achse). Rot: 4-20 Jahre, blau: 21-40 Jahre, grün: 41-60 Jahre, rosa: 61-80 Jahre und braun: 81-98 Jahre

In Abbildung 3 werden die einzelnen Kategorien der Todesursache nach Altersgruppen sortiert. Hier zeigt sich eine deutliche Überrepräsentation der 60-80-jährigen bei primär kardial bedingter Todesursache. Darauf folgt das septisch bedingte Multiorganversagen. Die meisten 81-98 jährigen verstarben an einem septischen Multiorganversagen, gefolgt von kardial bedingten Todesursachen.

Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt (ANOVA: 0,03). In der anschließenden Post-hoc-Analyse stellte sich heraus, dass Temperaturunterschiede zwischen den Gruppen wohl hauptsächlich auf dem Unterschied zwischen der Kategorie „Kardiale Genese“ und der Kategorie „Respiratorische Insuffizienz“ (Bonferroni-adjustierter p-Wert: 0.02) zurückzuführen ist.

Intraindividuelle Schwankungen

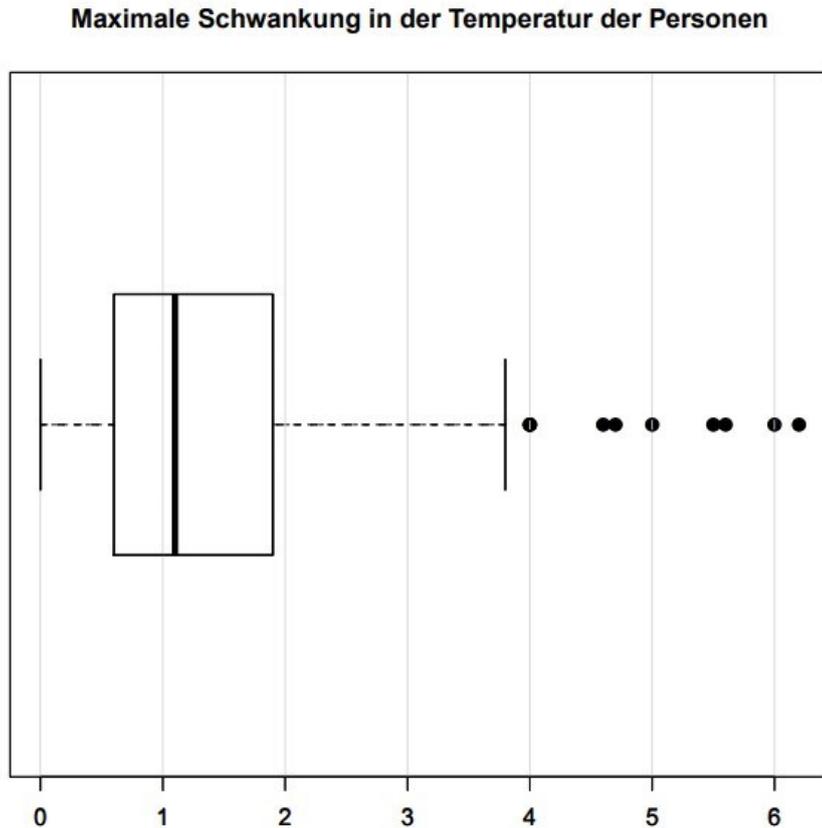


Abb. 4 Intraindividuelle Schwankungen der Körperkerntemperatur (°C) innerhalb der letzten 24h ante mortem

Es zeigten sich Schwankungen der Körpertemperatur innerhalb einzelner Individuen von teilweise mehr als 6°C innerhalb von 24 Stunden. Der Median der intraindividuellen Schwankungen lag bei etwas mehr als 1°C innerhalb der letzten 24 Stunden (n=392). Die Hälfte der Personen wies eine Schwankung zwischen etwas mehr als 0,5°C und knapp unter 2°C auf (Abb. 4).

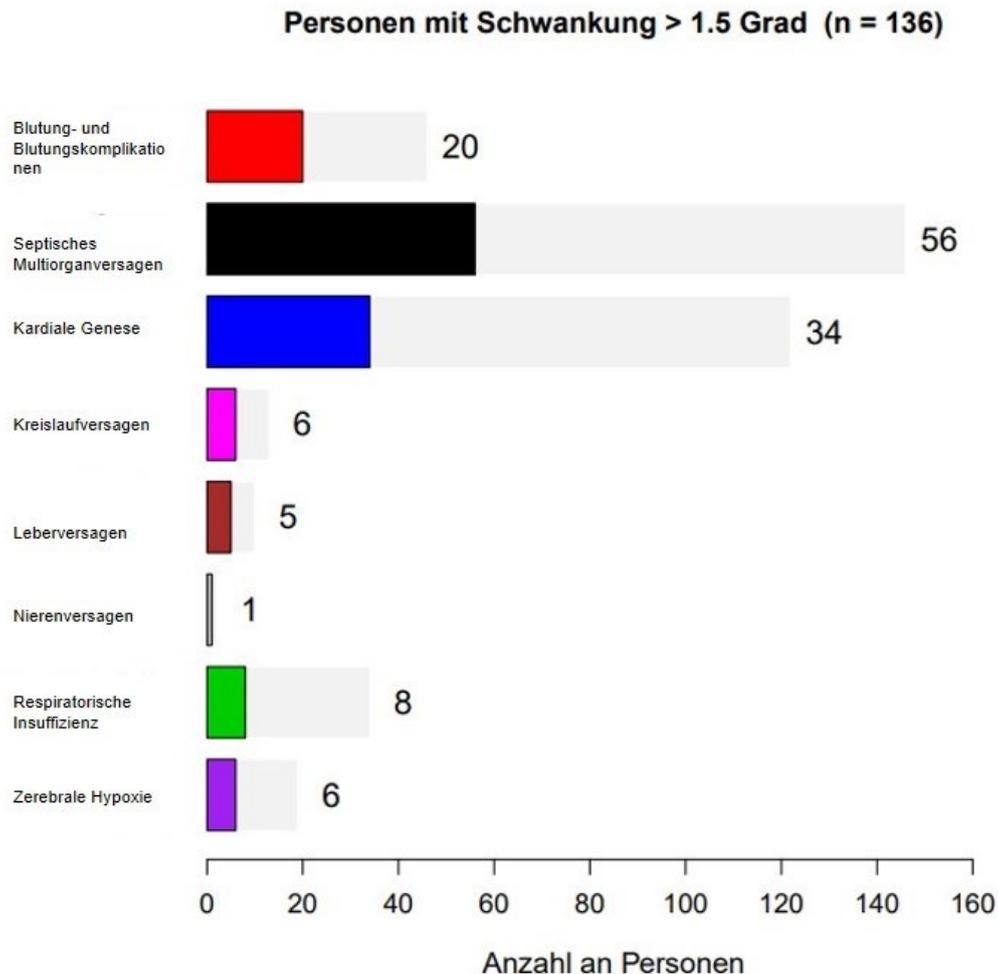


Abb. 5 Anzahl der Personen in verschiedenen Todesursachengruppen mit einer Schwankung der Körpertemperatur von mehr als 1,5°C in den letzten 24 Stunden ante mortem

In jeder Gruppe von Todesursachen zeigte sich mindestens eine Person mit einer intraindividuellen Schwankung von mehr als 1,5°C in den letzten 24 Stunden vor dem Eintritt des Todes (n=136). Hierbei zeigte sich erwartungsgemäß eine deutliche Überpräsenz in der Gruppe der an septischem Multiorganversagen Verstorbenen (n=56) (Abb. 5).

Die mittlere Körpertemperatur aller Verstorbenen mit mindestens einer Temperaturmessung (n=392) lag in den letzten 24 Stunden bei etwa 37,0°C. Die zum Teil extremen interindividuellen Schwankungen sind in Abbildung 6 hervorgehoben.

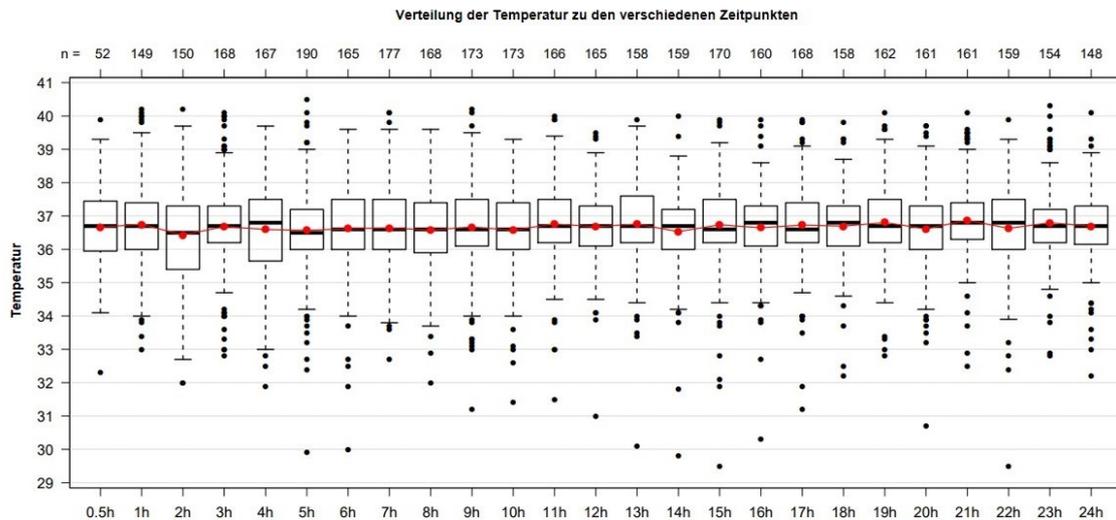


Abb. 6 Schwankungen der Körpertemperatur (°C; y-Achse) in den letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Die roten Punkte zeigen Durchschnittswerte.

Blutdruck und Puls im Zeitverlauf und in Korrelation zur Körpertemperatur

Sowohl der systolische (Abb. 7) und der diastolische Blutdruck als auch die Herzfrequenz sanken in den letzten Stunden vor dem Tod deutlich ab. Den systolischen Blutdruck betreffend, zeigte sich dieser Effekt in den letzten 3 Stunden vor dem Tod. Beim Puls hingegen war dies in der letzten halben Stunde vor Todeseintritt zu beobachten (Abb. 8).

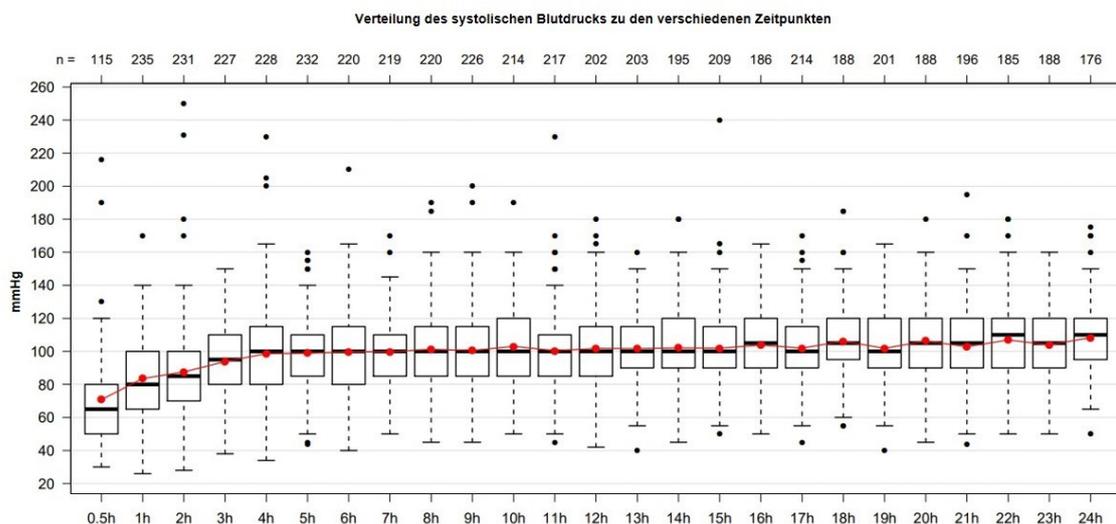


Abb. 7 Schwankung des systolischen Blutdrucks (mmHg; y-Achse) in den letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse).

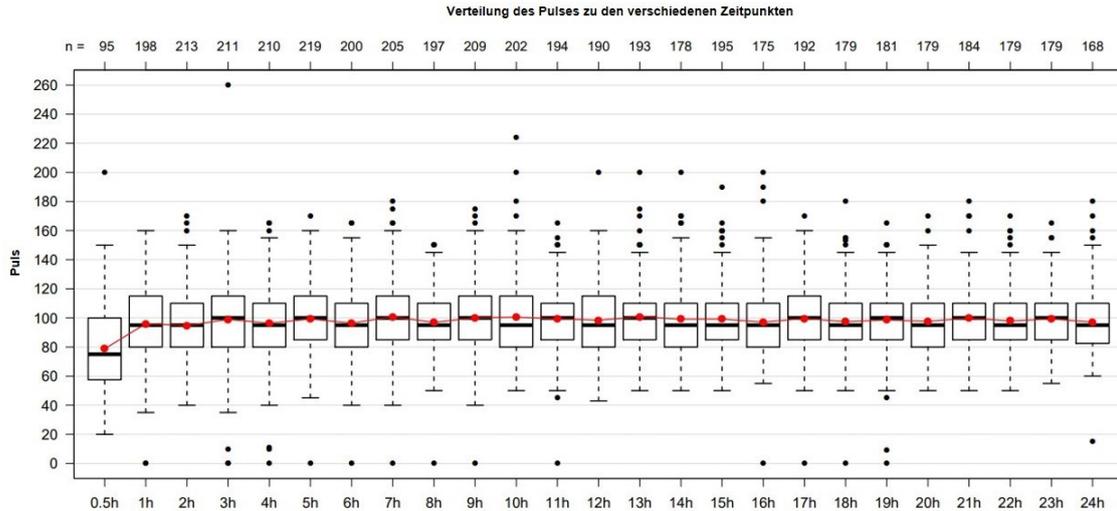


Abb. 8 Schwankung des Pulses (bpm; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse).

Werden die Kreuzkorrelationen von systolischem und diastolischem Blutdruck, Puls, Hämoglobin und intravenös verabreichten Flüssigkeiten mittels Pearson-Korrelationskoeffizients betrachtet, zeigen sich geringe positive und negative mediane Korrelationen. Der Puls hat hierbei eine mediane Korrelation von 0,25 mit der Temperatur (Abb. 9).

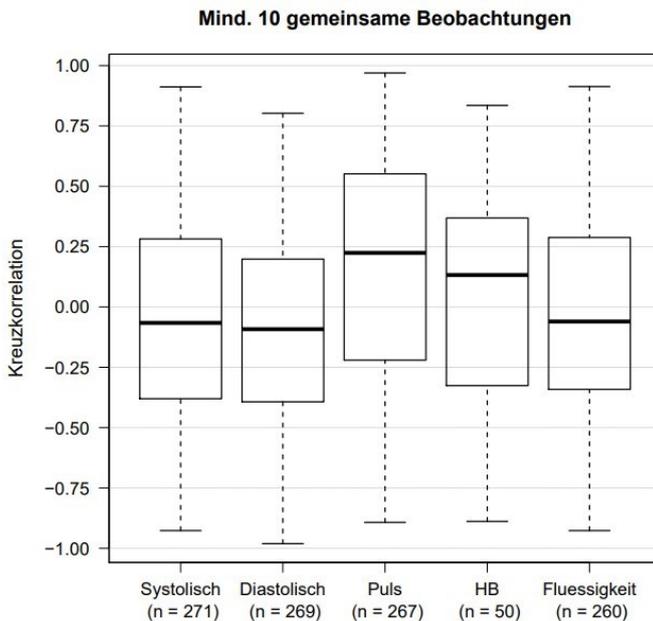


Abb. 9 Korrelation der Vitalparameter, des Hämoglobins und der intravenös verabreichten Flüssigkeiten (x-Achse) mit der Temperatur bei Probanden, bei denen mindestens 10 gemeinsame Beobachtungen zu sehen waren (n=284). Die Daten entsprechen der Pearson-Korrelation (y-Achse). Die Anzahl der Beobachtungen ist unten angegeben.

Temperaturverteilung zu den verschiedenen Zeitpunkten

Wird ausschließlich die Gruppe der an „septischem Multiorganversagen“ Verstorbenen betrachtet, zeigt sich eine große Spannbreite der Körperkerntemperaturen, trotz einer intensivmedizinischen Behandlung mit fiebersenkenden und antibiotischen Medikamenten. Im Gegensatz zu den Personen der gleichen Gruppe, die nicht extern erwärmt oder gekühlt wurden, zeigt sich hier eine annähernd konstante Spannbreite über die letzten 24 Stunden ante mortem (Abb. 10).

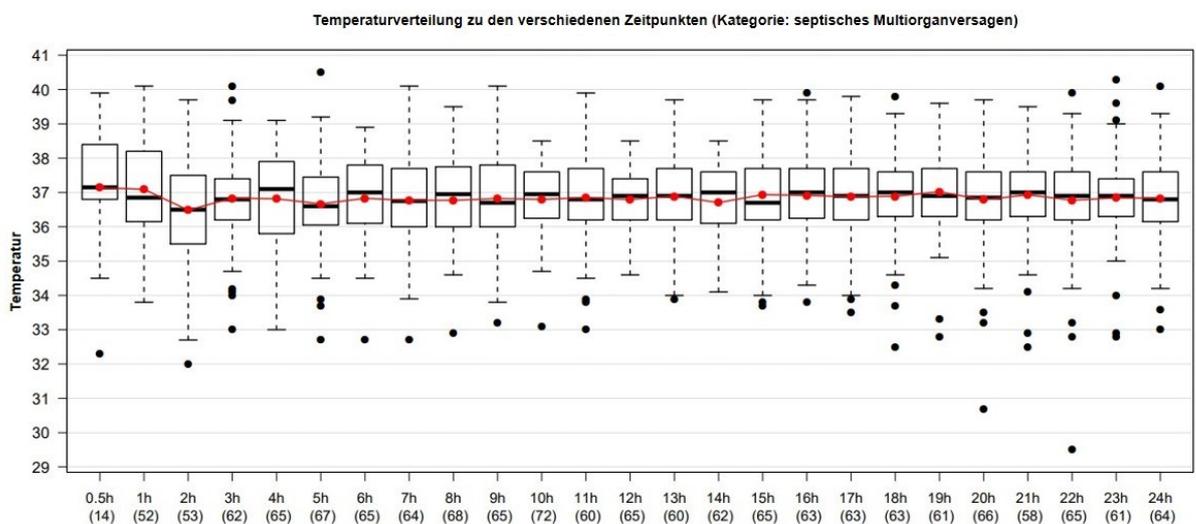


Abb. 10 Schwankung der Körpertemperatur (°C; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Gesamt n=98

Die Gruppe der an einer „kardialen Genese“ Verstorbenen zeigt, ebenso im Vergleich zu den nicht extern erwärmten oder gekühlten Personen, eine nahezu konstante Körperkerntemperatur. Obwohl hier keine Fieberkonstellationen enthalten sind, zeigen sich auch hier erhebliche Schwankungsbreiten (Abb. 11).

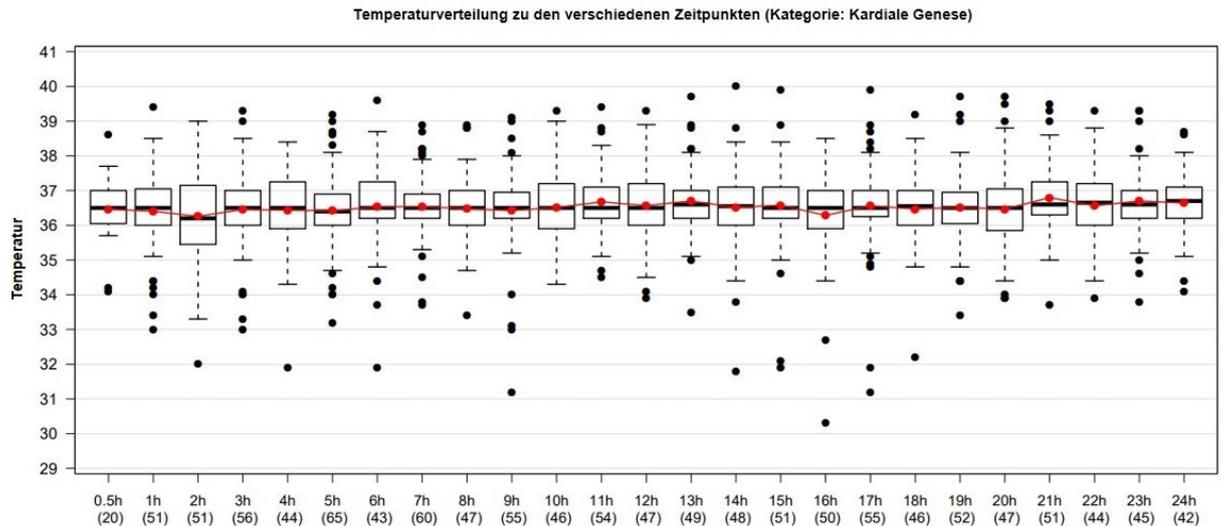


Abb. 11 Schwankung der Körpertemperatur (°C; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Gesamt n=91

Diskussion

Eine simple Antwort, bei welcher Temperatur Personen mit bestimmten Gruppen von Todesursachen versterben, ließ sich nicht finden und war auch nicht zu erwarten. Abweichend von den nicht erwärmten und gekühlten Patienten die mit einer medianen Körpertemperatur von etwa 37,2°C versterben, zeigte sich, sobald diese mit einbezogen werden, eine mediane Temperatur von etwa 37,0°C. Hierbei traten Schwankungen der Körpertemperatur zwischen etwa 30°C und 40°C auf. Dabei hat eine Veränderung der Ausgangstemperatur erheblichen Einfluss auf die Todeszeitschätzung. Muggenthaler et al. zeigten, dass bei einer Ausgangstemperatur von 41°C zum Todeszeitpunkt, je nach Umgebungsbedingungen und Körpergewicht, erst nach bis zu 5 h post mortem eine Temperatur von 37,2°C erreicht ist [32].

Wie die oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, kann die Temperatur auch noch kurz vor dem Tod etwaigen Schwankungen unterliegen. Die im gesunden Menschen angenommene Körperkerntemperatur wird in der Metanalyse von Obermeyer et al., bei der 35.488 Personen ohne Erkrankungen einfließen, mit einem 95 %-Intervall von 35,7°C bis 37,3°C angegeben. Hierbei wurde die Temperatur in 88,2 % der Fälle aurikulär gemessen [22]. Es wurde zudem ein Einfluss durch demographische Faktoren, Nebenerkrankungen und

physiologische Konditionen gezeigt. Eine weitere Metaanalyse zeigte ein 95%-Intervall von 35,61°C bis 37,61°C für mittels Blasenkatheter gemessene Körpertemperaturen [33]. Hierbei wurden unterschiedliche Katheter verschiedener Hersteller verwendet. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Körperkerntemperatur zum Todeszeitpunkt von 37,2°C regelmäßig abweicht.

Auf Grund der inter- und intraindividuellen Schwankungen ließen sich keine akzeptablen Intervalle für bestimmte Todesursachen definieren. Es zeigt sich, dass bei den an „septischem Multiorganversagen“ Verstorbenen die durchschnittliche Spannbreite der Temperaturen in Bezug auf beide Datensätze größer ist als bei Patienten, die zum Beispiel an „kardialen Ursachen“ verstorben sind.

Da intensivmedizinische Patienten eine Vielzahl von medizinischen Interventionen erhalten, ließen sich monokausale Einflüsse nicht darstellen. Die bei künstlich erwärmten und gekühlten Patienten regelmäßig vorliegende mediane Temperatur um 37,0°C, legt die Vermutung nahe, dass diese Temperatur als Zielwert der externen Wärmeregulation bestimmt war.

Auf intensivmedizinischen Stationen ist die Messung über einen liegenden Blasenkatheeter eine häufig angewendete Temperaturmessmethode [34]. Bei den oben erhobenen Daten erfolgte dies über einen Rüs-Sensor. [35] Dem gegenüber wird in der Rechtsmedizin für die Bestimmung der Körpertemperatur eine rektale Messung durchgeführt. Verschiedene Studien haben die Unterschiede zwischen Blasen- und Rektaltemperatur untersucht. Lefrant et al. maßen einen Unterschied zur über einen Pulmonararterienkatheter gemessenen Kerntemperatur von $-0,07^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ beziehungsweise $-0,21^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. [36] Durch Mravinac et al. wurden in einer ähnlich angelegten Untersuchung höhere Korrelationskoeffizienten zwischen der Blasen- und der Pulmonararterientemperatur (0,78 – 0,94) als zwischen Rektal- und Pulmonararterientemperatur (0,49 - 0,82) gezeigt [37]. Es zeigen sich jedoch nur geringfügige Unterschiede. Der Korrelationskoeffizient zwischen Blasen- und Rektaltemperatur lag bei 0,46 – 0,85. Bei Patienten mit Nierenversagen oder bei rapiden Temperaturschwankungen scheint die Blasentemperatur jedoch die Körpertemperatur verzögert widerzuspiegeln [38].

Für die Todeszeitschätzung über temperaturgestützte Methoden ist die Erfassung von Einflussfaktoren auf die Körperkerntemperatur essentiell. Es wurde einerseits festgestellt, dass etwa 10 % der gewaltsamen Tode mit einer Hyperthermie verbunden sind [39]. Andererseits kann psychosozialer Stress einen ansteigenden Effekt auf die Körperkerntemperatur haben, insbesondere auf die oberen gastrointestinalen Anteile des Körpers [40].

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Daten ergab sich der Hinweis darauf, dass Männer mit höheren Körperkerntemperaturen sterben als Frauen. Bei den in der Veröffentlichung enthaltenen Daten zeigte sich ein Unterschied im BMI bei Männern und Frauen. Dieser zeigte sich unter Einbeziehung der gewärmten und gekühlten Personen nicht. Die Spannweite war jedoch bei Männern breiter.

Die erhobenen Daten lassen sich auch mit Muggenthaler et al. in Einklang bringen, die eine Studie zur postmortalen Abkühlung mit 84 Verstorbenen durchführten. Auch hier zeigte sich eine Varianz der Temperatur, die in diesem Fall bei 31,1°C bis 38,7°C lag [41].

Es ist dennoch fraglich, inwieweit sich die unter klinisch kontrollierten Bedingungen - auch ohne externe Wärmung oder Kühlung - erfassten Daten auf die forensische Todeszeitschätzung anwenden lassen, da intensivmedizinisch umsorgte Leichname einen nicht alltäglichen Sonderfall eines Tatorts darstellen.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass die in dieser Arbeit häufig angeführten Todesursachen „Blutung und Blutungskomplikationen“ und „kardiale Genese“, auch bei rechtsmedizinischen Untersuchungen eine zentrale Rolle spielen und dass sich hieraus Gründe zur Annahme alternativer Körperkerntemperaturen zum Todeszeitpunkt ableiten lassen.

Mit zunehmender Verbreitung der digitalen Speicherung von Messwerten im Klinikalltag könnte eine breiter angelegte automatische Erhebung der hier berücksichtigten Daten erfolgen. Bei einer deutlich erhöhten Anzahl an Personen und unter Nutzung von Echtzeitdokumentationen dürfte hier eine deutlich präzisere Dokumentation möglich sein, womit die verschiedenen Einflussfaktoren möglicherweise spezifischer beurteilt werden können.

Zusammenfassend sollte generell die Verwendung einer isolierten Methode zur Todeszeitbestimmung kritisch gesehen werden und mit anderen Methoden und den Ergebnissen der Ermittlungsarbeit synoptisch beurteilt werden.

Limitationen

Hauptsächlich wird die vorliegende Arbeit durch drei Faktoren limitiert.

Erstens erwies sich die Aufteilung in verschiedene Gruppen von Todesursachen als problematisch. Die einzelnen Personen ließen sich nicht immer zweifelsfrei einer Gruppe zuordnen oder hatten verschiedene Erkrankungen, die gemeinsam zum Tod geführt haben (sog. konvergierender Sterbetyp), so dass diese Verstorbenen in die wahrscheinlichste Gruppe von Todesursachen einsortiert wurden.

Zweitens wurden ausschließlich im Krankenhaus verstorbene Patienten untersucht. Da es sich hierbei um ein klinisches Setting handelt und somit auch die Temperaturregulierung anders verläuft als bei körperlich aktiven Personen stellt sich die Frage, inwieweit sich die erhobenen Daten auf in einem forensischen Kontext verstorbene Personen übertragen lassen (vgl. Diskussion).

Drittens wurden die erhobenen Daten durch die Messung über einen Blasenkatheter erhoben. Auch wenn, wie oben gezeigt, die Unterschiede zwischen der Blasen- und der Rektaltemperatur marginal sind, sollten diese Daten mit Vorsicht verwendet werden, da in der Rechtsmedizin üblicherweise die Rektaltemperatur zur Messung der Körpertemperatur genutzt wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Mallach HJ, Mittmeyer HJ (1971) [Rigor mortis and livores. Estimation of time of death by use of computerized data processing]. *Z Rechtsmed* 69 (1):70-78. doi:10.1007/BF02092639
2. Mathur A, Agrawal YK (2011) An overview of methods used for estimation of time since death. *Australian Journal of Forensic Sciences* 43 (4):275-285. doi:10.1080/00450618.2011.568970
3. Anders S, Kunz M, Gehl A, Sehner S, Raupach T, Beck-Bornholdt HP (2013) Estimation of the time since death--reconsidering the re-establishment of rigor mortis. *Int J Legal Med* 127 (1):127-130. doi:10.1007/s00414-011-0632-z
4. Crostack C, Sehner S, Raupach T, Anders S (2017) Re-establishment of rigor mortis: evidence for a considerably longer post-mortem time span. *Int J Legal Med* 131 (4):1039-1042. doi:10.1007/s00414-017-1558-x
5. Dettmeyer R, Veit F, Verhoff M (2019) Thanatologie. In: *Rechtsmedizin*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 7-26. doi:10.1007/978-3-662-58658-7_2
6. Chiari H (1913) *Leichenerscheinungen, Leichenbeschau*, vol 2. Wilhelm Braumüller, Wien u. Leipzig
7. Warther S, Sehner S, Raupach T, Puschel K, Anders S (2012) Estimation of the time since death: post-mortem contractions of human skeletal muscles following mechanical stimulation (idiomuscular contraction). *Int J Legal Med* 126 (3):399-405. doi:10.1007/s00414-011-0665-3
8. Henssge C, Lunkenheimer PP, Salomon O, Madea B (1984) [Supravital electrical excitability of muscles]. *Z Rechtsmed* 93 (3):165-174. doi:10.1007/bf00200446
9. Koehler K, Sehner S, Riemer M, Gehl A, Raupach T, Anders S (2018) Post-mortem chemical excitability of the iris should not be used for forensic death time diagnosis. *Int J Legal Med* 132 (6):1693-1697. doi:10.1007/s00414-018-1846-0

10. Davy J (1829) Observations on the Temperature of the Human Body after Death. *Trans Med Chir Soc Edinb* 3 (Pt 2):580-592
11. Henssge C (1988) Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram. *Forensic Sci Int* 38 (3-4):209-236. doi:10.1016/0379-0738(88)90168-5
12. Henssge C, Madea B, Gallenkemper E (1988) Death time estimation in case work. II. Integration of different methods. *Forensic Sci Int* 39 (1):77-87. doi:10.1016/0379-0738(88)90120-x
13. Henssge C, Brinkmann B (1984) [Determination of time of death by rectal temperature. Mathematical analysis of empirical material versus thermodynamic modeling. A critical case presentation]. *Arch Kriminol* 174 (3-4):96-112
14. Henssge C, Althaus L, Bolt J, Freislederer A, Haffner HT, Henssge CA, Hoppe B, Schneider V (2000) Experiences with a compound method for estimating the time since death. I. Rectal temperature nomogram for time since death. *Int J Legal Med* 113 (6):303-319. doi:10.1007/s004149900089
15. Henssge C, Althaus L, Bolt J, Freislederer A, Haffner HT, Henssge CA, Hoppe B, Schneider V (2000) Experiences with a compound method for estimating the time since death. II. Integration of non-temperature-based methods. *Int J Legal Med* 113 (6):320-331. doi:10.1007/s004149900090
16. Henssge C, Madea B (2007) Estimation of the time since death. *Forensic Sci Int* 165 (2-3):182-184. doi:10.1016/j.forsciint.2006.05.017
17. Mall G, Eisenmenger W (2005) Estimation of time since death by heat-flow Finite-Element model. Part I: method, model, calibration and validation. *Leg Med (Tokyo)* 7 (1):1-14. doi:10.1016/j.legalmed.2004.06.006
18. Mall G, Eisenmenger W (2005) Estimation of time since death by heat-flow Finite-Element model part II: application to non-standard cooling conditions and preliminary results in practical casework. *Leg Med (Tokyo)* 7 (2):69-80. doi:10.1016/j.legalmed.2004.06.007

19. Wilk LS, Hoveling RJM, Edelman GJ, Hardy HJJ, van Schouwen S, van Venrooij H, Aalders MCG (2020) Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis. *Sci Adv* 6 (22):eaba4243. doi:10.1126/sciadv.aba4243
20. Henssge C, Madea B (2004) Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Sci Int* 144 (2-3):167-175. doi:10.1016/j.forsciint.2004.04.051
21. Henssge C (1979) Die Präzision von Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung. *Z Rechtsmed* 83 (1):49-67. doi:10.1007/bf00201311
22. Obermeyer Z, Samra JK, Mullainathan S (2017) Individual differences in normal body temperature: longitudinal big data analysis of patient records. *BMJ* 359:j5468. doi:10.1136/bmj.j5468
23. Brück K (1993) Wärmehaushalt und Temperaturregelung. In: Schmidt RF, Thews G (eds) *Physiologie des Menschen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 660-682. doi:10.1007/978-3-662-09336-8_25
24. Hensel H (1981) Thermoreception and temperature regulation.
25. Hardy JD, Gagge AP (1970) *Physiological and behavioral temperature regulation*. Thomas,
26. Bovenschen M, Schwender H, Ritz S, Beseoglu K, Hartung B (2021) Estimation of time since death after a post-mortem change in ambient temperature: Evaluation of a back-calculation approach. *Forensic Sci Int* 319:110656. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110656
27. Potente S, Henneicke L, Schmidt P (2021) Prism - A novel approach to dead body cooling and its parameters. *Forensic Sci Int* 325:110870. doi:10.1016/j.forsciint.2021.110870
28. Potente S, Henneicke L, Schmidt P (2022) Prism (II): 127 cooling dummy experiments. *Forensic Sci Int* 333:111238. doi:10.1016/j.forsciint.2022.111238

29. Potente S, Biermann FM (2021) Anwendung der bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilung auf die temperaturgestützte Todeszeitschätzung (CPD-Methode). Rechtsmedizin 31:321-332
30. Biermann FM, Potente S (2011) The deployment of conditional probability distributions for death time estimation. Forensic science international 210 (1-3):82-86
31. Potente S, Biermann FM (2021) Application of conditional probability distribution (CPD) to temperature-based time of death estimation. Rechtsmedizin 31:321-332
32. Muggenthaler H, Hubig M, Schenkl S, Mall G (2017) Influence of hypo- and hyperthermia on death time estimation - A simulation study. Leg Med (Tokyo) 28:10-14. doi:10.1016/j.legalmed.2017.06.005
33. Geneva, II, Cuzzo B, Fazili T, Javaid W (2019) Normal Body Temperature: A Systematic Review. Open Forum Infect Dis 6 (4):ofz032. doi:10.1093/ofid/ofz032
34. Fallis WM (2002) Monitoring urinary bladder temperature in the intensive care unit: state of the science. Am J Crit Care 11 (1):38-45; quiz 47
35. Rüscher Sensor - Transurethral catheter for temperature measurement (2009) http://www.vitalmedikal.com/Uploads/images/product/isi-yonetimi/pdf/Katalog%20940461-000001_Ruesch_Sensor_en-2009.pdf. Accessed 18.01.2022
36. Lefrant JY, Muller L, de La Coussaye JE, Benbabaali M, Lebris C, Zeitoun N, Mari C, Saissi G, Ripart J, Eledjam JJ (2003) Temperature measurement in intensive care patients: comparison of urinary bladder, oesophageal, rectal, axillary, and inguinal methods versus pulmonary artery core method. Intensive Care Med 29 (3):414-418. doi:10.1007/s00134-002-1619-5
37. Mravinac CM, Dracup K, Clochesy JM (1989) Urinary bladder and rectal temperature monitoring during clinical hypothermia. Nurs Res 38 (2):73-76

38. Wagner M, Lim-Hing K, Bautista MA, Blaber B, Ryder T, Haymore J, Badjatia N (2021) Comparison of a Continuous Noninvasive Temperature to Monitor Core Temperature Measures During Targeted Temperature Management. *Neurocrit Care* 34 (2):449-455. doi:10.1007/s12028-020-01036-9
39. Demierre N, Wyler D, Zollinger U, Bolliger S, Plattner T (2009) Elevated body core temperature in medico-legal investigation of violent death. *Am J Forensic Med Pathol* 30 (2):155-158. doi:10.1097/PAF.0b013e31819a04a6
40. Vinkers CH, Penning R, Hellhammer J, Verster JC, Klaessens JH, Olivier B, Kalkman CJ (2013) The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans. *Stress* 16 (5):520-530. doi:10.3109/10253890.2013.807243
41. Muggenthaler H, Sinicina I, Hubig M, Mall G (2012) Database of post-mortem rectal cooling cases under strictly controlled conditions: a useful tool in death time estimation. *Int J Legal Med* 126 (1):79-87. doi:10.1007/s00414-011-0573-6

Anhang

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tab. 1: Zeitverlauf der Livores post mortem [1]

Tab. 2: Zeitverlauf der rigor mortis post mortem [1,3,4]

Abb. 1 Altersverteilung (Jahre) der einbezogenen verstorbenen Personen. Der Kasten enthält 50 % der untersuchten Personen, die Linie innerhalb des Kastens gibt den jeweiligen Median an, und die Satelliten bezeichnen 25 % der untersuchten Personen. Ausreißer sind als Punkte dargestellt.

Abb. 2 Einteilung nach Todesursache (x-Achse), Anzahl der zugeordneten verstorbenen Personen und die innerhalb von 2 Stunden ante mortem gemessene Körpertemperatur (°C, y-Achse). Die Zahlen sind unter jeder Spalte angegeben. Gesamt n=277

Abb. 3 Todesursachenkategorien nach Altersgruppen (Anzahl; x-Achse). Rot: 4-20 Jahre, blau: 21-40 Jahre, grün: 41-60 Jahre, rosa: 61-80 Jahre und braun: 81-98 Jahre

Abb. 4 Intraindividuelle Schwankungen der Körperkerntemperatur (°C) innerhalb der letzten 24h ante mortem

Abb. 5 Anzahl der Personen in verschiedenen Todesursachengruppen mit einer Schwankung der Körpertemperatur von mehr als 1,5 °C in den letzten 24 Stunden ante mortem

Abb. 6 Schwankungen der Körpertemperatur (°C; y-Achse) in den letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Die roten Punkte zeigen Durchschnittswerte.

Abb.7 Schwankung des systolischen Blutdrucks (mmHg; y-Achse) in den letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse).

Abb. 8 Schwankung des Pulses (bpm; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse).

Abb. 9 Korrelation der Vitalparameter, des Hämoglobins und der intravenös verabreichten Flüssigkeiten (x-Achse) mit der Temperatur bei Probanden, bei denen mindestens 10 gemeinsame Beobachtungen zu sehen waren (n=284). Die Daten entsprechen der Pearson-Korrelation (y-Achse). Die Anzahl der Beobachtungen ist unten angegeben.

Abb. 10 Schwankung der Körpertemperatur (°C; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Gesamt n=98

Abb. 11 Schwankung der Körpertemperatur (°C; y-Achse) während der letzten 24 Stunden des Lebens (Stunden ante mortem; x-Achse). Gesamt n=91

Danksagung

In der langen Zeit, die ich an dieser Doktorarbeit geschrieben habe, haben mich viele Personen unterstützt. Diesen möchte ich meinen Dank ausdrücken.

Besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Prof. Benno Hartung ausdrücken, der mich jederzeit mit Rat und Unterstützung motiviert hat und dieses Projekt erst ermöglichte. Für die ausgezeichnete Beratung bei Fragen zur Statistik danke ich Prof. Holger Schwender. Zudem danke ich Prof. Detlef Kindgen-Milles für die Unterstützung bei der Datensammlung und Auswertung.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meinen Freunden Frau Theresa Lara Henssen für die Unterstützung bei der Übersetzung ins Englische und die fortwährende Motivation, die mir vor allem Frau Lea Celine Unger, als auch Herr Dr. Maximilian Clemens Pohst, Herr Andreu-Jörn Atienza, und Frau Barbara Bongers zukommen ließen.

Das Ganze ermöglicht und stets dafür gesorgt, dass diese Arbeit vollendet wird, hat meine Familie, insbesondere meine Eltern Hubert und Gisela Scheidemann, sowie mein Bruder Philipp Scheidemann, denen ich von Herzen dafür danke.