

# Akzidentelle Hypothermie bei pädiatrischen Patienten

## ZUSAMMENFASSUNG

Mit diesem Beitrag wollen wir ein Randthema innerhalb der Kardiotechnik aufgreifen. Zwischen April 2005 und April 2010 wurden 8 pädiatrische Patienten versorgt. Drei konnten entlassen werden, davon einer mit neurologischen Defiziten, und fünf verstarben. Organversagen (pulmonal, zerebral, myokardial) waren die Haupttodesursachen. Die Dauer und Effizienz der Reanimation hatten großen Einfluss auf irreversible Organschäden.

Die optimale Versorgungskette spielt für das Ergebnis eine große Rolle. Deswegen haben wir das Fallbeispiel eines zweijährigen Jungen in diesem Beitrag eingebracht. Der Junge kam unter Reanimation mit einer Temperatur von 23,8 °C (tympanal) und wurde mit der Herz-Lungen-Maschine bis 33 °C wiedererwärmt, wurde weitere 12 Stunden unter milder Hypothermie (33–34 °C) gehalten und am 3. Post-OP-Tag extubiert. Nach diesem Unfallereignis blieben keine Folgeschäden zurück.

## SCHLÜSSELWÖRTER

Schwere akzidentelle Hypothermie, Reanimation, Wiedererwärmung, Herz-Lungen-Maschine, Versorgungskette

## ABSTRACT

We aim to describe accidental hypothermia, an important side issue concerning our profession. Eight paediatric patients were treated between April 2005 and April 2010. Three were discharged (two fully recovered, one suffered from neurological deficit) and five died. The main cause of death was organ failure (pulmonary, cerebral, myocardial). Therapeutic sequences and resuscitation duration/efficiency had the highest impact on the prognosis and outcome.

Furthermore did we depict a case of a two year old boy with severe accidental hypothermia (23.8 °C, tympanic) with an optimal treatment course. Under resuscitation the child was placed on cardiopulmonary bypass (CPB) and rewarmed to 33 °C. This temperature was maintained for 12 hours. On the third post-operative day he was ex-

tubated. The child suffered no secondary damage and fully recovered.

## KEY WORDS

Severe accidental hypothermia, resuscitation, rewarming, cardiopulmonary bypass, therapeutic sequences

## Einleitung

Die Definition der akzidentellen Hypothermie nach den Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) zur kardiopulmonalen Reanimation (CPR) benennt ein unbeabsichtigtes Absinken der Körpertemperatur auf weniger als 35 °C [1].

Das ERC ist ein interdisziplinäres europäisches Kollegium für Wiederbelebungs- und Notfallmedizin.

Zu den Ursachen der akzidentellen Hypothermie zählen im Allgemeinen:

- (1) Immersion (Eintauchen des Körpers bis zum Kopf) und Submersion (Eintauchen des Körpers und des Kopfes)
- (2) Kälteexposition mit sehr langsamem Auskühlen (Bergsteiger, Obdachlose)

- (3) Schneeeinfälle (Lawinen-, Skiunfall, Gletscherspaltensturz)
- (4) Intoxikationen
- (5) Polytrauma

In einer retrospektiven Analyse über einen Zeitraum von 5 Jahren untersuchten wir unsere Kindernotfälle mit schwerer akzidenteller Hypothermie zu bestimmten Faktoren, welche Mortalität und Morbidität beeinflussten.

## PATIENTEN UND THERAPIEVERFAHREN

Von April 2005 bis April 2010 wurden von uns 8 Patienten behandelt. Das Alter lag zwischen 17 und 29 Monaten, es waren 4 Jungs und 4 Mädchen. Alle Patienten waren Süßwasser-beinahe-Ertrinkungsunfälle und wurden unter kardiopulmonaler Reanimation an die Herz-Lungen-Maschine genommen (Abb. 1).

## MATERIALIEN UND METHODEN

### Zur Vorbereitung der extrakorporalen Zirkulation(EKZ):

Das Priming (Tab. 1) der Herz-Lungen-Maschine (HLM) ist den unterschiedlichen Setgrößen für unsere Kinder angepasst.

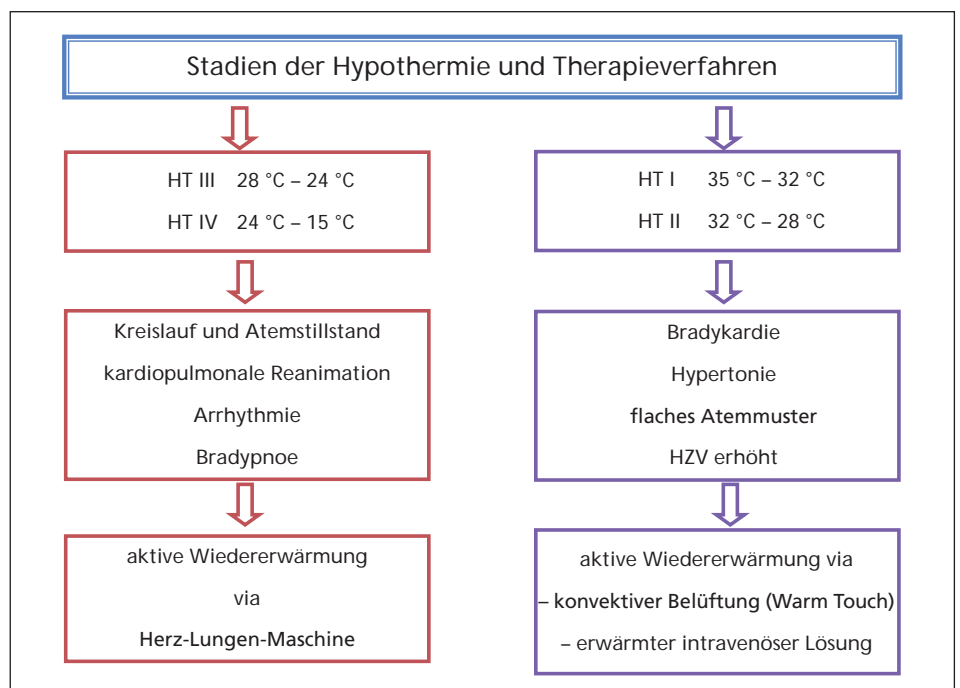


Abb. 1: Therapie-Algorithmus bei akzidenteller Hypothermie

Volumen	Medikamente
EK (Erythrozytenkonzentrat)	Mannitol-Lösung 20 % 3 ml kg/KG (Serag-Wiessner, Naila, Deutschland)
FFP (Fresh Frozen Plasma)	Vitamin C 250 mg (Rotexmedica, Trittau, Deutschland)
Ringer-Lösung (Fresenius Kabi, Bad Homburg, Deutschland)	Magnesium-Diasporal 0,4 mmol (Protina-Pharma, Ismaning, Deutschland)

Tab. 1: Primingkomponenten der HLM

Die Primingtemperatur wurde der erniedrigten Körperkerntemperatur angepasst. Die initiale Heparindosis von 300 IE kg/KG wurde appliziert. Eine ACT (Activated Clotting Time) von über 400 s wurde akzeptiert, um mit der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) zu beginnen.

Die thorakale Kanülierung wird arteriell über die A. ascendens mit einer DLP-Kanüle (Medtronic, Minneapolis, USA) vorgenommen, die venöse Kanülierung über den rechten Vorhof mit einer geraden DLP-Kanüle (Medtronic, Minneapolis, USA) und zur Linksherzentlastung eine DLP-Vent-Kanüle (Medtronic, Minneapolis, USA) im linken Vorhof.

Physiologische Änderungen aufgrund Hypothermie wie zum Beispiel Azidose, Hyper- und Hypokaliämie, Hypokalziämie, Hyperglykämie und die Linksverschiebung der Sauerstoffbindungskurve wurden bei der HLM-Führung berücksichtigt (Tab. 2).

#### Diagnostik im OP:

Evaluierung des Blutflusses im Gehirn (transkranielle Dopplersonographie – TCD) und der linksventrikulären Funktion (Echokardiographie)

#### Nach HLM:

- Wärmedecke (Warm Touch), Patiententemperatur bei 33 °C beibehalten
- Thrombozytensubstitution
- wenn erforderlich AT III und PPSB
- arterieller Mitteldruck 50–60 mmHg
- Katecholamine zur LV-Unterstützung

#### ERGEBNISSE

Von 8 Patienten konnten drei Patienten aus der Klinik entlassen werden, davon eine Patientin mit neurologischen Defiziten. Zwei Patienten wurden aus dem OP mit einer ECMO auf die Intensivstation verlegt, wo sie später jedoch verstarben. Die Indikation zur ECMO war Low-Cardiac-Output-Syndrom und Lungenversagen.

Die Haupttodesursache im OP war Herzversagen (Low Cardiac Output). Bei drei Patienten wurde die Therapie im OP eingestellt, bei einem wurde wegen nachweislichem neurologischen Schaden (konsiliar nachgewiesene fehlende zerebrale Perfusion mittels TCD) unter Berücksichtigung des Gesamtkontextes (Reanimation 5 Stunden) die Therapie eingestellt, die anderen beiden hatten linksventrikuläres Versagen (massiver Myokardschaden) (Tab. 3).

#### DISKUSSION

Die niedrigste Körperkerntemperatur (KKT) bei akzidenteller Hypothermie, welche die verunglückte Person nahezu ohne Spätfolgen überlebte, ist in der Literatur derzeit mit 13,7 °C für einen Erwachsenen und 14,4 °C bei einem überlebenden Kind zu finden [2, 3]. Die pathophysiologischen Veränderungen durch Hypothermie sind je nach Temperaturtiefe unterschiedlich ausgeprägt [4, 5, 6, 7].

Der Einsatz der Herz-Lungen-Maschine und mediane Sternotomie haben im Rahmen der Behandlung der tiefen akzidentellen Hypothermie bei kardiopulmonaler Reanimation die folgenden Vor- und Nachteile.

Zu den Vorteilen gehören primär folgende Merkmale: Eine sehr schnelle und sichere Kreislaufunterstützung und somit stabile und leicht regulierbare Erwärmung wird

Physiologie bei schwerer Hypothermie und vorbeugende Maßnahmen an der HLM		
Parameter und Organe	Physiologische Veränderungen	HLM-Management
Hämodynamik	HF, SVR und HZV ↓ Arrhythmien, EKG-Veränderung Kammerflimmern, Asystolie Vasoplegie – Minderperfusion und Reperfusionsschaden generalisierte Permeabilitätsstörung	1. Vermeidung von Hyperoxygenierung an der HLM – pO <sub>2</sub> 80–100 mmHg 2. die ersten 15 min die niedrige Temperatur halten, bis der Patient stabil ist 3. Blutfüllung (EK+FFP) – kein Albumin 4. Hb > 11–13 mg/dl
Respiratorisches System	Azidose ödematöse Schwellung Alveolarepithelschaden ziliäre Fehlfunktion ARDS gestörtes VQ-Verhältnis	5. Temperaturerhöhung 3–4 °C/Stunde bis 33 °C Körperkerntemperatur (32–34 °C nach ERC-Empfehlung; Neuroprotektion) 6. Temperaturrate Wasser zu arteriellem Blut bis 4 °C 7. Blutgasmanagement: unter 28 °C pH-stat, über 28 °C Alpha-stat 8. gegen Ödembildung, besonders Gehirnödem – Mannitol-Lösung 20 % (2,5–7 ml kg/KG)
Niere	Kältediurese GFR und renaler Blutfluss ↓ Oligurie	9. Vitamin C/Ascorell gegen reduzierte „oxidative capacity“ – Sauerstoffradikale (250 mg) 10. Magnesium aufgrund zellulärem Membranschaden (0,8 mmol)
Neurologie	Nervengeschwindigkeit ↓ Areflexie/Koma Hirnödem durch Minderperfusion und Reperfusionsschaden zerebraler Perfusionsdruck ↓	11. arterieller Mitteldruck 50–60 mmHg 12. das Herz während Flimmern optimal entlasten, Linksvent 13. Hämofiltration – negative Bilanz, danach „zero balancing“ mit kaliumfreier Lösung, falls Hyperkaliämie besteht 14. mindestens 30–45 min vor dem Abstellen der HLM das Herz auswerfen lassen, um peripheren Blutfluss zu gewährleisten und „Afterdrop“ zu vermeiden
Gerinnung	Thrombozytenfunktionsstörung, -sequestrierung plasmatische Gerinnung eingeschränkt/DIC	15. Insulin-Gabe erst ab 30 °C
Sonstiges	verminderte Insulinfreisetzung – Hyperglykämie reduzierte Leukozyten – „oxidative capacity“	16. Azidose erst ab 28 °C und bis zu 80 % korrigieren 17. Thrombozyten, AT III und PPSB nach HLM zur Blutstillung

Tab. 2: HLM-Management und Maßnahmen im UHZ

Alter in Monaten/ Geschlecht	Tiefste gemessene Temperatur	Reanimation ja/nein (ggf. Dauer)	Therapie	Komplikationen bzw. Ergebnis
17/weibl.	23 °C	ja (2,5 h)	HLM, anschließend ECMO	Lungenversagen
21/männl.	28 °C	ja	HLM	Low Cardiac Output
29/männl.	28 °C	ja	HLM	Low Cardiac Output
23/weibl.	26 °C	ja (5 h)	HLM	fehlende Hirnperfusion
29/männl.	20,5 °C	ja	HLM, anschließend ECMO	Low Cardiac Output, Multiorganversagen
24/weibl.	25 °C	ja (3,5 h)	HLM	hypoxischer Hirnschaden/entlassen
21/weibl.	28 °C	ja	HLM	entlassen
23/männl.	23,8 °C	ja	HLM	entlassen

Tab. 3: Ergebnisse

sichergestellt. Ein möglicher „Afterdrop“ kann die Patientenstabilität nicht gefährden. Das Management der Volumenverschiebung (Vasokonstriktion, -dilatation) inklusive Hämofiltration ist sehr gut möglich und eine Linksherzentlastung durch einen Vent kann leicht angelegt werden. [8] Direkte Defibrillation ist ebenfalls möglich. Wie oben bereits erwähnt, ist insgesamt von sehr geringen Erfahrungswerten pro Klinik auszugehen, somit bedeutet die Verwendung einer weitgehenden Standardausrüstung der HLM ebenfalls einen Vorteil.

Zu den Nachteilen zählen die große Wundfläche, die mögliche Blutungsneigung aufgrund Gerinnungsstörung sowie die inflammatorische Reaktion.

Wollenek et al. sieht in einer retrospektiven Studie über 12 pädiatrische Patienten (Alter: 2–12 Jahre) ebenfalls die von uns benannten praktischen Vorteile des kardiopulmonalen Bypasses via medianer Sternotomie, insbesondere bei Kleinkindern [8, 9].

Die Definition des Afterdrop: Durch das Wiedererwärmen und die damit verbundene Vasodilatation kann kaltes Blut aus den Extremitäten strömen und massive Rhythmusstörungen hervorrufen [6].

Das Zusammenspiel der Abläufe in der Versorgungskette ist für das Ergebnis enorm wichtig. Herausragende Faktoren sind die Reanimationsmaßnahme (Sicherung und Wiederherstellung der Vitalparameter), die schnelle Einschätzung, die Klinikauswahl mit Expertise und gute Logistik, um eine effektive Versorgung zu garantieren. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Zeitpunkt des Kreislaufstillstandes. Trat er vor oder nach der Abkühlung des Kopfes ein und fand somit eine Gehirnprotektion statt oder nicht [10].

Angaben zu Überlebensraten nach schwerer akzidenteller Hypothermie bewegen sich in der Literatur in einem Bereich von 10 bis 41 %, allerdings sind Prozentangaben bei geringen Fallzahlen zurückhaltend zu bewerten. Eich et al. berichtet in einer retrospektiven Datenauswertung über 12 pädiatrische Patienten (Alter: 22 Monate bis 7,5 Jahre) und dabei von 5 Überlebenden, etwa 41 % [9]. Ruttman et al. weist in seiner Studie über 59 Patienten (Alter: 13–49 Jahre) auf eine Überlebensrate von etwa 20 % hin [11]. Eine Orientierung aus einem säkularen Bericht über die verunglückte Skifahrerin Anna, 29, aus Norwegen mit 13,7 °C aus dem Jahr 2000 erwähnt 10 bis 33 % Überlebende [3]. Unser Erfahrungswert mit drei Überlebenden von 8 pädiatrischen Patienten liegt bei 37,5 %.

Organversagen und Organschaden (pulmonal, neurologisch, kardial und renal) bleiben die Hauptursache der hohen Mortalitätsrate.

**„Opfer von tiefer akzidenteller Hypothermie mit Kreislaufstillstand sollten mit der Erwartung der völligen Erholung wiederbelebt werden.“**

Der obige Satz stammt von M. Gilbert, er war der verantwortliche Arzt im weltbekannten Beispiel der bereits erwähnten Skifahrerin Anna aus Norwegen. Diese stürzte in Eiswasser und überlebte nahezu folgenlos eine zwischenzeitlich minimale Körperkerntemperatur von 13,7 °C. Sie kann ihren Beruf als Ärztin ausüben und fährt auch wieder Ski. Neun Stunden der Wiederbelebung und Stabilisierung führten zu einer guten physischen und mentalen Wiederherstellung. Dieses potenzielle

Ergebnis sollten wir für alle derartigen Opfer vor Augen haben [2].

## FALLBERICHT

Ein erkundungsfreudiger knapp 2-jähriger Junge war wenige Minuten unbeobachtet. Nach kurzer Zeit hörte die Mutter die Nachbarin rufen. Diese, eine ausgebildete Krankenschwester, fand Florian kopfüber im eiskalten Wasser ihres mit einer leichten Eisschicht überzogenen Gartenteiches liegend. Sie befreite den Jungen von den durchnässten Kleidungsstücken und begann mit der kardiopulmonalen Reanimation.

Der gerufene Notarzt fordert den Rettungshubschrauber an, um Florian schnellstmöglich in das Universitäre Herzzentrum innerhalb des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf zu transportieren. Der Junge wird mit 23,8 °C (tympanal) eingeliefert. Die Erstdiagnostik ergab einen nicht messbaren Blutdruck, arrhythmischen Puls und weite, lichtstarre sowie rechts entrundete Pupillen. Umgehend wurde er unter CPR in den Herz-OP gebracht. Die geschätzte Größe lag bei 80 cm bei einem Gewicht von 15 kg.

Die initiale Blutgasanalyse (BGA) ergab folgende Werte: pH 6,98, pO<sub>2</sub> 660 mmHg, pCO<sub>2</sub> 28,8 mmHg, Hb 13,2 g/dl, K<sup>+</sup> 2,87 mmol/l, Na<sup>+</sup> 130 mmol/l, Glukose 568 mg/dl, Laktat 14,9 mmol/l, BE -22,8 mmol/l.

Die Primingtemperatur der Herz-Lungen-Maschine wurde der vorliegenden Körperkerntemperatur (KKT) angepasst.

Nach der Thorakotomie erfolgte über eine arterielle 12-Fr.-Jostra-Kanüle (Maquet, Hirrlingen, Deutschland) in der A. ascendens und eine venöse 22-Fr.-DLP-Kanüle (Medtronic, Minneapolis, USA) im rechten Vorhof der Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine. Ein 13-Fr.-Linksvent (Medtronic) wurde im linken Vorhof platziert. Die Erwärmung erfolgte mit 3 °C/Stunde und einer maximalen Wassertemperatur von 35 °C auf eine KKT von 33 °C. Bei etwa 27 °C KKT stellte sich wieder ein Sinusrhythmus ein. Die Korrektur der Elektrolyte erfolgte ab einer Patiententemperatur von 30 °C engmaschig. Während der EKZ wurden aufgrund der Hyperglykämie einmalig 16 IE Insulin bei 31 °C verabreicht. 300 ml Hämofiltrat konnten entzogen werden, die Diurese insgesamt lag bei 800 ml. Das Entwöhnen von der HLM ging ohne Einschränkungen.

Die abschließende BGA im OP zeigte eine deutliche Verbesserung: pH 7,32, K<sup>+</sup> 3,89 mmol/l, Na<sup>+</sup> 146 mmol/l, Glu-

kose 71 mg/dl, Laktat 6,0 mmol/l, BE -0,8 mmol/l.

Für weitere 12 Stunden wurde diese milde Hypothermie zwischen 33 und 34 °C beibehalten, um ein gutes neurologisches Outcome zu begünstigen.

Am 3. Post-OP-Tag und bei inzwischen wieder vollständigem Erreichen der normalen Körpertemperatur konnte extubiert werden. Diagnostische Untersuchungen ergaben keine maßgeblichen Auffälligkeiten, so konnte Florian die Klinik 12 Tage nach seinem Unfall wieder verlassen, auf dem Weg zur vollständigen Genesung.

Auch 10 Monate nach dem Ereignis waren keine Folgeschäden bei dem Jungen vorhanden, lediglich eine Narbe infolge der Sternotomie erinnerte daran.

Zusammenfassend ist nachfolgend die günstig ineinander greifende „Versorgungskette“ nach Florians Unfall aufgeführt (Abb. 2) [4]:

- Ersthelfer/in – startet umgehend und professionell CPR
- KKT 23,8 °C (tympanal) – stellte der Notarzt fest
- Klinikauswahl mit Expertise wurde schnell getroffen
- Rettungshubschrauber
- kontrollierte aktive Wiedererwärmung an der EKZ
- auf ITS 33 °C – 12 Stunden zur Neuroprotektion
- passive vollständige Wiedererwärmung am ersten Tag post OP
- Extubation: 3 Tage post OP
- Klinikentlassung: 12 Tage post OP

### SCHLUSSEFOLGERUNGEN

Akzidentelle Hypothermie ist, wie bereits aufgezeigt, auf sehr unterschiedliche Ereignisse zurückzuführen. In der Kardiotechnik werden wir primär mit tiefer akzidenteller Hypothermie konfrontiert. Daher ist es sehr zu empfehlen, eine Leitlinie für derartige Notfallsituationen zu haben.

Allerdings ist das gesamte Zusammenspiel von Unfallereignis und Versorgungskette entscheidend für ein positives Out-



Abb. 2: Florian, 10 Monate nach dem schweren Unfallereignis  
Foto: Hamburger Abendblatt, Dezember 2006

come, detailliert ist der Sachverhalt jedoch meist nicht bekannt.

Die Chance der akzidentellen Hypothermie spiegelt sich zusammenfassend in der Aussage von Gregory (1972) [12] treffend wieder:

**„Niemand ist tot, bis er nicht wiedererwärmt und tot ist.“**

### LITERATUR

- [1] European Resuscitation Council: Guidelines for Resuscitation 2005. *Resuscitation* 67 (Suppl 1): S1–189
- [2] Gilbert M et al: Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7 °C with circulatory arrest. *Lancet* 2000, Vol. 355 –Jan. 29
- [3] [www.news.bbc.co.uk/2/hi/health/620609.stm](http://www.news.bbc.co.uk/2/hi/health/620609.stm)
- [4] Maisch S et al: Schwere akzidentelle Hypothermie mit Kreislaufstillstand und extrakorporaler Erwärmung. *Anästhesist* 2007, 56: 25–29
- [5] Benk C et al: Aspekte zur praktischen Anwendung von Hypothermie in der Herzchirurgie. *Empfehlungen zum Einsatz und zur Verwendung der HLM*. Steinkopff Darmstadt 2006; 147–156

- [6] Antretter H et al: Akzidentelle Hypothermie. In: *Handbuch der Kardiotechnik*. Urban & Fischer 2002; 371–384
- [7] Gries A: Notfallmanagement bei Beinahe-Ertrinken und akzidenteller Hypothermie. *Anästhesist* 2001, 50: 887–901
- [8] Wollenek G et al: Cold water submersion and cardiac arrest in treatment of severe hypothermia with cardiopulmonary bypass. *Resuscitation* 2002; 52(3): 255–263
- [9] Eich C et al: Outcome of 12 drowned children with attempted resuscitation of cardiopulmonary bypass: An analysis of variables based on the „Utstein Style for Drowning“. *Resuscitation* 2007; 75: 42–52
- [10] Severdija E: Akzidentelle Hypothermie. In: R. J. Tschaut: *Extrakorporale Zirkulation in Theorie und Praxis*. Pabst-Verlag 2005; S. 546–553
- [11] Ruttman E et al: Prolonged extracorporeal membrane oxygenation-assisted support provides improved survival in hypothermic patients with cardiocirculatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; (134) 3: 594–600
- [12] Gregory RT, Paton JF: Treatment after exposure to cold. *Arctic Medical Research Laboratory, Alaska. Lancet* 1972; 1: 377

G. Stockinger  
Universitäres Herzzentrum  
Hamburg GmbH  
Herzchirurgie: Abteilung Kardiotechnik  
Martinistraße 52  
20246 Hamburg  
E-Mail: [gstocki@yahoo.de](mailto:gstocki@yahoo.de)