

Journal für

# Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/  
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**Thermographie:  
Temperaturregulation bei Patienten  
mit infantiler Zerebralparese**

Lampe R, Kawelke S, Mitternacht J

Grading R

*Journal für Neurologie*

*Neurochirurgie und Psychiatrie*

2011; 12 (2), 191-198

Homepage:

**www.kup.at/**

**JNeurolNeurochirPsychiatr**

Online-Datenbank  
mit Autoren-  
und Stichwortsuche

Indexed in  
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

# 76. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie DGNC

Joint Meeting mit der Französischen  
Gesellschaft für Neurochirurgie



**2025**  
1.–4. Juni  
**HANNOVER**

[www.dgnc-kongress.de](http://www.dgnc-kongress.de)

Im Spannungsfeld zwischen  
Forschung und Patientenversorgung

**PROGRAMM JETZT ONLINE EINSEHEN!**



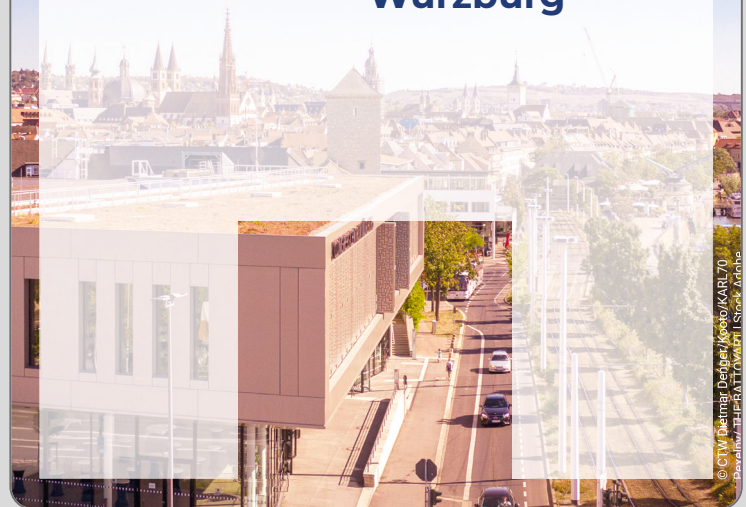
Deutsche  
Gesellschaft für  
Epileptologie



# 64. JAHRESTAGUNG

der Deutschen Gesellschaft für Epileptologie

**10.–13. Juni 2026**  
**Würzburg**



© CIM Deimer Deque/Kosch/KARL70  
Bavaria/THP/Alto/Wiki | Stock Adobe

# Thermographie: Temperaturregulation bei Patienten mit infantiler Zerebralparese

R. Lampe, S. Kawelke, J. Mitternacht, R. Gradinger

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Technische Universität München, Deutschland

## ■ Einleitung

Die infantile Zerebralparese ist eine Mehrfachbehinderung, die mehrere Funktionssysteme betrifft. Störungen der Sprache, Wahrnehmung, Motorik und Intelligenz sowie Anfallsbereitschaft (Epilepsie) und Verhaltensauffälligkeiten charakterisieren die infantile Zerebralparese in ihrem Symptomkomplex einer Mehrfachbehinderung [1]. Allgemein bekannt, aber in der Literatur wenig berücksichtigt werden vor allem vegetative Dysregulationen. Feldkamp zählt in diesem Zusammenhang eine große Anzahl von Symptomen auf: Rhythmusstörungen des Schlafes und der Atmung, vermehrtes Schwitzen und Speichelfluss, verminderte Hautdurchblutung und Schwierigkeiten des Stuhlgangs [2]. Diese vegetativen Störungen werden bei der Anamnese des Patienten mit Zerebralparese oft erst auf den zweiten Blick beachtet. Sie sind aber wesentlich für Lebensqualität und Wohlbefinden. Nicht nur für den Betroffenen selbst, auch für die pflegenden Personen sind sie von großer Bedeutung.

In der vorliegenden Studie galt es herauszufinden, ob vegetative Dysregulationen, insbesondere die Hautdurchblutung, bei der Zerebralparese abhängig von motorischen Fähigkeiten sind. Um das Krankheitsbild der Zerebralparese und Zusammenhänge zur Temperaturregulation zu verstehen, erscheint ein kurzer Überblick über die Temperaturregulation bei gesunden Menschen sowie über zerebrale Defekte sinnvoll:

Der Mensch benötigt für ein reibungsloses Funktionieren der Organe eine konstante Temperatur von 37 °C. Diese Temperatur sollte bei wechselnder Umgebungstemperatur als Körperkerntemperatur erhalten bleiben. Um diese ständig aufrecht zu halten, muss der Körper in der Lage sein, Wärme zu produzieren und abzugeben. Je nach Umgebungstemperatur schwankt die Körpertemperatur in der Körperschale. Als Indifferenzbereich der Umgebungstemperatur gelten 25 °C und im Wasser 30 °C, d. h. alles was niedriger ist, fördert die Wärmeproduktion [3]. Die mittlere Hauttemperatur schwankt am Arm zwischen 30 und 32 °C und am Bein zwischen 27 und 29 °C [4]. In der Peripherie wird durch Thermorezeptoren der Ist-Zustand gemessen und an den Hypothalamus weitergeleitet. Der Hypothalamus steuert die Thermoregulation und ist für die Messung der Kerntemperatur zuständig [3]. Die in der Peripherie vorhandenen Temperaturrezeptoren teilen sich in Kalt- und Warmrezeptoren, die Aufgabengrenze liegt bei 36 °C [4]. Die Steuersignale, die das Kältezittern aktivieren, werden vom Hypothalamus erzeugt und an das motorische System weitergetragen, die Steuersignale zur Weitstellung der Gefäße werden auch vom Hypothalamus erzeugt und an das sympathische System weitergeleitet [5]. Deussen [6] beschreibt aber, dass die Mechanismen der Durchblutungs-

zunahme der Haut nur partiell aufgeklärt sind. In den peripheren Extremitäten wird die Gefäßerweiterung vorwiegend über eine Abnahme der Freisetzung von Noradrenalin durch die hypothalamisch-hypophysäre Achse reguliert.

Bei infantiler Zerebralparese sind zerebrale Defekte oder eine Schädigung bekannt, die nicht fortschreiten und vor Abschluss der wichtigsten morphofunktionellen Reifungsprozesse des Gehirns aufgetreten sind. Um ein genaues Ausmaß und die Lokalisierung des für die Behinderung ursächlichen zerebralen Defekts zu bestimmen, kann ein MRT des Kopfes angefertigt werden.

Warum eine Schädigung im motorischen Kortex eine so ausgeprägte Temperaturregulationsstörung zur Folge haben kann, wenn doch die Temperaturregulation vornehmlich über den Hypothalamus bzw. die hypothalamisch-hypophysäre Achse erfolgt, bleibt noch zu erforschen. Inwieweit die zerebrale Schädigung über die Schädigung des motorischen Areals hinaus, aber in der Bildgebung nicht direkt nachweisbar den Hypothalamus und die vegetative Regulation mit einbezieht, ist bisher nicht publiziert.

## ■ Material und Methode

An den Messungen nahmen 22 Probanden der Testgruppe mit infantiler Zerebralparese und 6 gesunde Probanden der Kontrollgruppe teil. Die Patienten besuchen das „Münchner Förderzentrum“ (MFZ). Hier arbeiten sie in einer Werkstatt oder Förderstätte für behinderte Menschen, da sie aufgrund der Schwere ihrer Behinderung bzw. Mehrfachbehinderung nicht für den ersten Arbeitsmarkt ausbildungsfähig waren bzw. sind.

Die Verteilung von weiblichen und männlichen Teilnehmern war in beiden Gruppen jeweils 50 %. Das Durchschnittsalter der Testgruppe lag im Mittel bei  $33,9 \pm 13,7$  Lebensjahren (Median 28 Jahre; 20–61 Jahre) und in der Kontrollgruppe bei  $29,8 \pm 9,6$  Lebensjahren (Median 29,5 Jahre; 16–46 Jahre). 15 Teilnehmer der Testgruppe waren aufgrund einer bilateralen Zerebralparese auf einen Rollstuhl angewiesen, wobei eine selbständige Fortbewegung im Aktivrollstuhl oder im E-Rollstuhl möglich war („Gross Motor Function Classification System“-Stufe IV [7]). 5 Teilnehmer benötigen bei unilateraler Zerebralparese keinen Rollstuhl im Alltag (3 mit GMFCS-Stufe I, 2 mit Stufe II) und 2 Teilnehmer benötigen bei beinbetonter bilateraler Zerebralparese teilweise einen Rollstuhl (Gehstrecke > 100 Meter, GMFCS-Stufe III). Der GMFCS der Bewegungseinschränkung ist eigentlich für Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre vorgesehen, wurde aber in dieser Studie zur Klassifikation aller Probanden angewendet. Eine Validierung liegt aber auch für Erwachsene vor [8].

Eine Standard-Klassifizierung der manuellen Fähigkeiten wurde nicht durchgeführt, stattdessen eine eigene Kraftmessung und funktionelle Zuordnung der Hände. Der „Bimanual Fine Motor Function Score“ (BFMF), der häufig bei Kindern zur Klassifizierung der handmotorischen Fähigkeiten herangezogen wird, korreliert nach [9] hochsignifikant mit dem GMFCS.

Alle Patienten hatten eine spastische Zerebralparese. Patienten mit einer ataktischen Zerebralparese, die das MFZ besuchen, zeigten nicht genügend Ausdauer für die Teilnahme an der Studie. Ausschlusskriterien waren Begleiterkrankungen wie Hautdefekte, akute Infekte, kardiologische Erkrankungen oder Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes. Weiterhin mussten die Probanden die Fähigkeit besitzen, über den Zeitraum der Untersuchung eine gewisse Bewegungsruhe aufbringen zu können, deshalb wurden Patienten mit vorwiegend dyskinetischen Bewegungsunruhen ausgeschlossen. Die infantile Zerebralparese an sich bringt eine heterogene Erscheinung der Behinderung mit sich, die sich sowohl im Muskeltonus als auch in den kognitiven Fähigkeiten wie Konzentrationsfähigkeit und Ausdauer äußert. Die Patientengruppe wurde deshalb unvermeidlich, aber auch bewusst heterogen gewählt.

Für die Diagnosen wurden die aktuellen Bezeichnungen des „Executive Committee for the Definition of Cerebral Palsy“ gewählt, wie unilaterale, bilaterale oder bilateral-beinbetonte Zerebralparese, die die klassischen, in Forschung und klinischer Praxis überwiegend verwendeten Begriffe Hemiparese, Diparese und Tetraparese bzw. Hemiplegie, Diplegie und Tetraplegie ersetzen sollen, um eine gemeinsame internationale Sprache zu definieren [10].

### Kraftmessung

Die Kraftmessung diente bei der Testgruppe unter anderem dazu, die Funktionshand eindeutiger zuordnen zu können. Als Funktionshand wird die weniger paretische Hand bezeichnet, die eine bessere motorische Funktion aufweist, geringere Gelenkfehlstellungen, mehr Muskelkraft und bessere feinmotorische Funktionen.

Als Arbeitshand wird die Hand definiert, die tatsächlich zur Arbeit, insbesondere zum Schreiben, benutzt wird. Die Probanden gaben selbst an, welche ihre Arbeitshand ist.

### Volumenmessung

Das Volumen des Unterarms und der Hand wurde gemessen, damit die Abkühlung in ihrer Tiefe objektiver beurteilt werden kann. Es ist zu vermuten, dass eine Masse mit weniger Volumen stärker durchkühlt wird. Weniger Masse erwärmt sich schneller und die Temperatursteigerung wird schneller an der Oberfläche messbar.

Ein Volumeter wird als Standardmethode zur Messung des Volumens von Körperteilen des Menschen in der Biomechanik genutzt. Hierbei wird die Wasserverdrängung als Messprinzip genommen.

Als Messgerät diente ein eigens angefertigtes Volumeter. Dieses besteht aus einem zylindrischen Behälter mit Über-

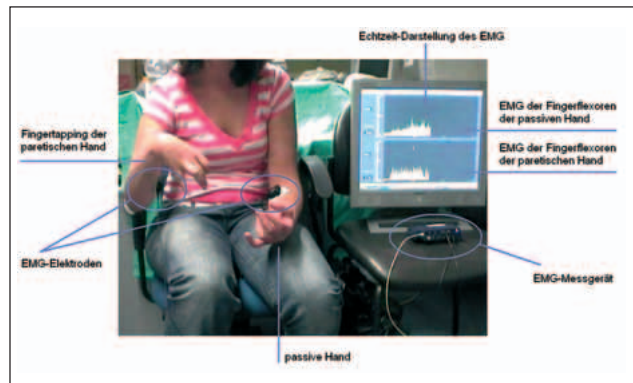


Abbildung 1: EMG der Fingerflexoren der Probandin aus Abbildung 2

lauf. Das durch die Hand bzw. den Unterarm verdrängte Wasser wird in einem Messbecher aufgefangen und auf einer geeichten Waage gewogen. Über das bekannte spezifische Gewicht des Wassers wird das Volumen des Körperteils bestimmt.

### Elektromyographie

Eine Untersuchung der oberen Extremitäten mithilfe des Oberflächen-Elektromyogramms wurde in diese Studie mit einbezogen, um über die Selektivität der Ansteuerung Informationen zu erhalten und die Präferenzhand im Seitenvergleich zu ermitteln.

Die Elektromyographie misst die spontane und die bei Willkürinnervation auftretende elektrische Aktivität der Muskeln. Die spontane unwillkürliche Aktivität spiegelt also den Tonus der Spastik wider. Die willkürliche Innervation spiegelt die aktive, selbstbestimmte Bewegungsausführung, ohne dabei eine Aussage über die Qualität der Bewegung zu treffen.

In der hier vorliegenden Untersuchung wurde die Aktivität der Handbeuger gemessen, wobei dafür die Elektroden in der Mitte des Unterarms medial auf den Handbeugemuskeln aufgebracht wurden (Abb. 1). Zunächst wurde die Ruheaktivität aufgenommen. Der Bewegungsauftrag war die wiederholte Oppositionsbewegung aller Finger zum Daumen.

### Thermographie

Zur Thermographie wurde eine Kamera der Firma Flir Systems vom Typ BCAM SD benutzt, deren Sensor das Strahlungsspektrum unterschiedlich warmer Teile einer Oberfläche voneinander unterscheiden kann. Den gemessenen Oberflächentemperaturen werden in der Darstellung des Wärmebildes dann unterschiedliche Farben zugeordnet (Abb. 4). Zur Erhöhung der Anschaulichkeit werden die kühleren Temperaturen beispielsweise in Blautönen, das heißt, in „kalten“ Farben dargestellt, die höheren Temperaturen in „warmen“ Farbtönen. In Abbildung 4 wird die Umgebungstemperatur von 26 °C im Blauton kodiert, die höchste im Bild vorkommende Temperatur von 33 °C in weiß. Das übrige Farbspektrum wird über diesen Temperaturbereich verteilt. Abbildung 5 zeigt die unteren Extremitäten eines Jugendlichen mit linksbetonter Tetraparese und trophischen Störungen.

Die Auswerte-Software ThermaCAM QuickReport 1.1 ermöglicht eine Auswertung der Infrarotbilder mit selbst fest-

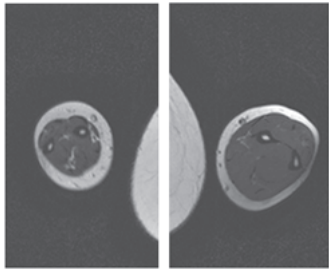
Volumenmessungen mit dem MRT (cm <sup>3</sup> )	Links	Rechts	Veränderung (%)	
Volumen von Hand und Unterarm	1588	1227	-23	
Muskelvolumen	726	439	-40	
Volumen des Radius	50	32	-36	
Volumen der Ulna	42	32	-24	
Fettanteil (Gesamtvolumen minus Muskel- und Knochenvolumen)	770	724	-6	

Abbildung 2: MRT-Schnittbild durch die Mitte des Unterarms

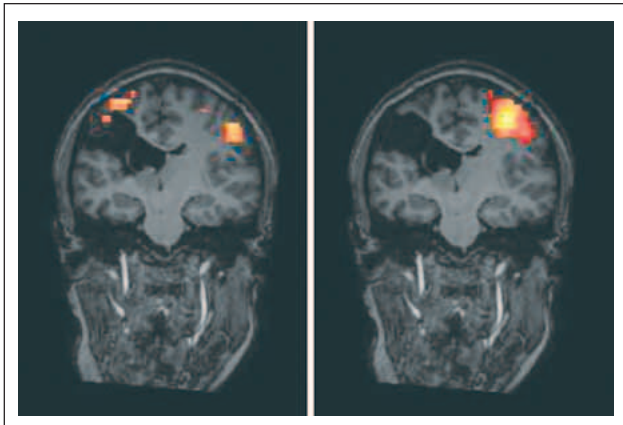


Abbildung 3: Funktions-MRT des Kopfes der Probandin aus Abbildung 2. Links Aktivitätszentren bei Greifbewegungen der paretischen rechten Hand, rechts der gesunden linken Hand

gelegten Messpunkten und in selbst definierten Bereichen. Die Auflösung der Kamera beträgt 120 × 120 Pixel. Die Temporaufauflösung ist 0,1 °C. Die Bildschärfe der Kamera wird manuell eingestellt, der Bildausschnitt durch einen geeigneten Kameraabstand zum Objekt gewählt.

Die Genauigkeit der Infrarot-Thermographie ist von der genauen Kenntnis des Emissionskoeffizienten des zu messenden Körpers abhängig. Der Emissionskoeffizient gibt an, wieviel Strahlung ein Körper im Vergleich zu einem idealen Messkörper abgibt (schwarzer Körper mit Emissionskoeffizient 1,00). Der menschliche Körper hat einen Emissionskoeffizienten von ungefähr 0,96.

Bei der Infrarotmessung ist zu berücksichtigen, dass nur die oberste Schicht dargestellt wird und keine Temperaturangaben über tiefere Strukturen gemacht werden können. Die Wärmestrahlung tieferer Schichten wird im Körper selbst wieder absorbiert, bevor sie die Oberfläche erreicht.

Bei der Messung der Temperatur der Körperoberfläche kann die Feuchtigkeit der Haut zu ungenauen Messergebnissen führen. Bei starkem Schwitzen werden die thermographischen Bilder verfälscht. Es bildet sich durch die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche Kälte.

In der Medizin wird die Thermographie gelegentlich bei der Untersuchung entzündlicher Prozesse, von Durchblutungsstörungen und vergleichbaren Erkrankungen standardisiert eingesetzt [7], vor allem aber zur Beschreibung des Raynaud-Phänomens [8].

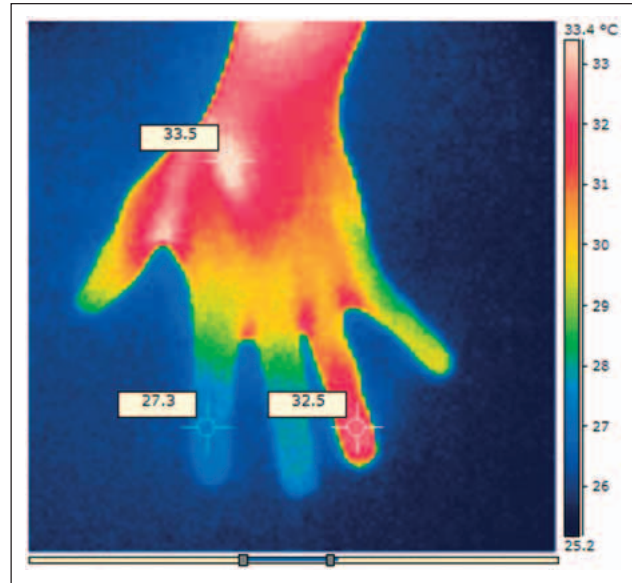


Abbildung 4: Thermographische Aufnahme, an ausgewählten Punkten Temperaturangaben

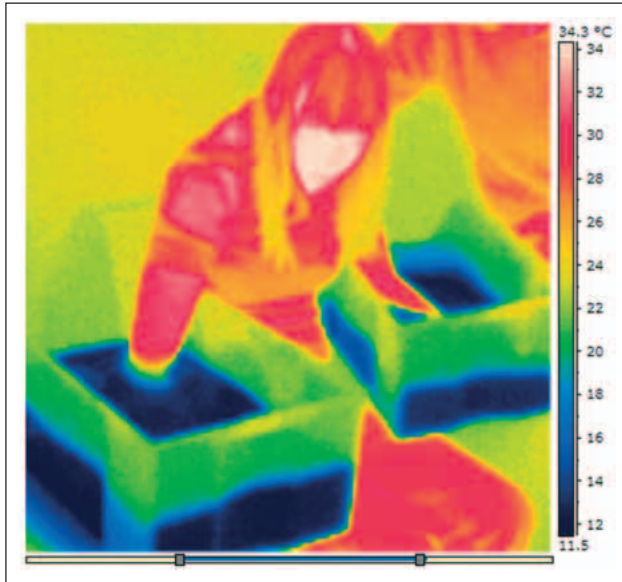
### Kälteexpositionstest

Als standardisierter Test wird meist der „Cold Stress Test for Hands“ von Ring [7, 9] verwendet. In diesem erfolgt zunächst eine Akklimatisierung der bloßen Arme. Dann werden die Arme für 60 Sek. in 20 °C kaltes Wasser gehalten [9]. Vorwiegend wurde dieser Test zur Erforschung des Raynaud-Syndroms eingeführt. In zahlreichen anderen Studien wird dieser Test auch für andere Krankheitsbilder eingesetzt, da man erst durch diese Provokation eine Veränderung der Durchblutung der jeweiligen Strukturen objektiver sichtbar machen kann.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Provokation wie folgt durchgeführt: Zuerst erfolgte die Akklimatisierung von 10 Min. ohne Bekleidung des betreffenden Körperteils. Anschließend folgte ein 12 °C kaltes Wasserbad der Arme bis kurz über das Ellbogengelenk (vgl. Abb. 6). Das Kältebad dauerte 10 Min., also länger und bei niedrigeren Temperaturen als in anderen Studien, z. B. [10]. In der Hydrothermoskala der Hydrotherapie wird eine Temperatur von 12 °C in die III. Stufe eingeordnet. Das Temperaturempfinden wird als sehr kalt zur Grenze hin zu unangenehm kalt beschrieben [11]. Dieses Verfahren wurde gewählt, weil in der vorliegenden Arbeit nicht nur eine Abkühlung der oberflächigen Strukturen erreicht werden sollte, sondern eine erweiterte Durchkühlung des gesamten Unterarms und der Hand.



**Abbildung 5:** Patient mit linksbetonter Tetraparese und trophischen Störungen



**Abbildung 6:** Probandin während der Kälteeexposition in 12 °C kaltem Wasser

Die Probanden durften vor der Messung keine koffeinhaltigen Getränke konsumieren und nicht rauchen, wobei in der Probanden- und Kontrollgruppe jeweils nur ein Teilnehmer Raucher war. Eine körperliche Belastung vor der Messung wurde vermieden, um eine dadurch entstandene Hyperthermie auszuschließen.

Aufgrund der vorhandenen pathologischen Tonuserhöhung in den oberen Extremitäten bei allen Probanden der Testgruppe wurde die Ausgangsstellung mit Kamerablick auf den Hand-

rücken gewählt. Die Probanden durften eine angenehme Gelenkstellung wählen, die sie für eine Stunde ohne größere motorische Aktivität aushalten konnten. Wenn möglich, sollten die Finger leicht gespreizt gehalten werden, um gegenseitige Erwärmung durch unmittelbaren Kontakt zu vermeiden.

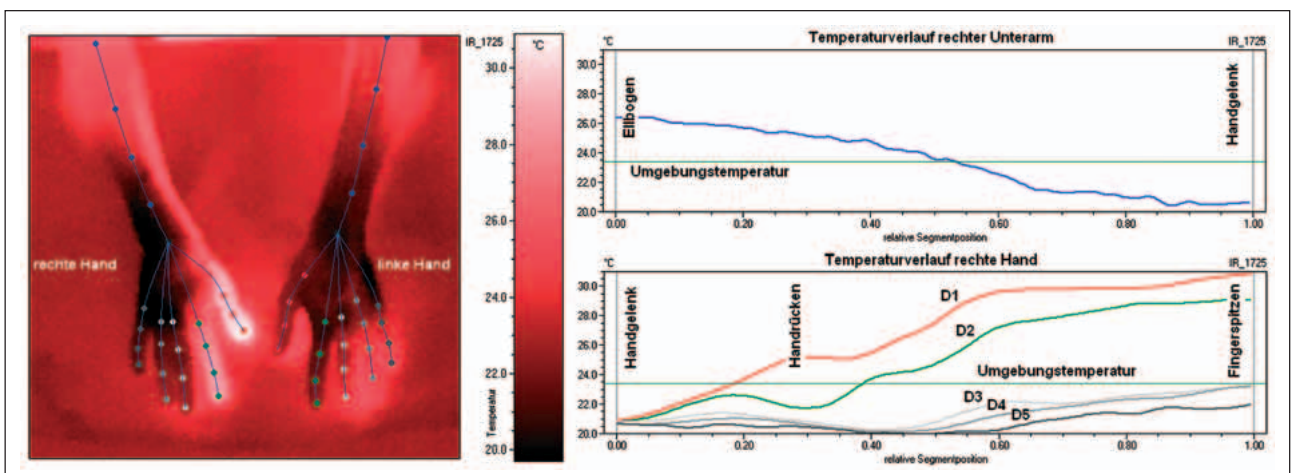
Vor dem Kältetest wurde der thermische Ausgangszustand des Probanden mit der Thermokamera aufgenommen. Darauf folgte für 10 Min. der thermische Reiz im Wasserbad. Anschließend wurden die Arme ohne Reibung abgetrocknet, um eine mechanische Anregung der Durchblutung und des Stoffwechsels zu vermeiden. Jede Restfeuchte der Arme wurde vermieden, um eine weitere Abkühlung durch Verdunstung zu vermeiden.

Danach erfolgten die wiederholten thermographischen Aufnahmen des Wiederaufwärmens. Dazu wurden im 30-sekündlichen Takt für bis zu 1 Stunde Aufnahmen gemacht.

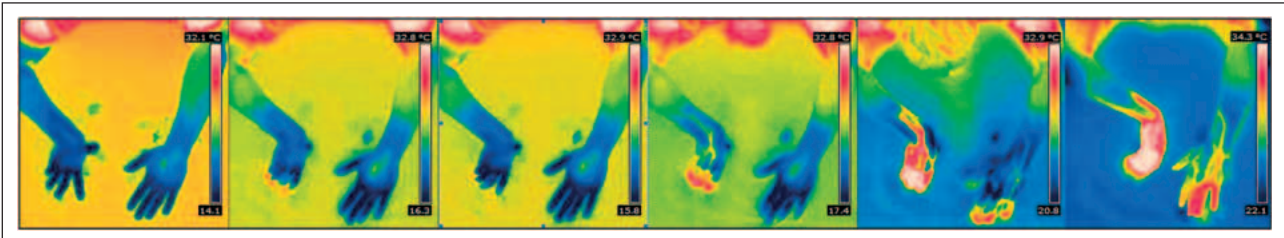
Abbildung 7 zeigt für ein Wärmebild den Temperaturverlauf entlang des Unterarms und der Finger aus einer solchen Aufnahmeserie. Typisch für den Großteil der Probanden ist die Wiederaufwärmung im Unterarm allmählich von proximal nach distal, in den Fingern von den Fingerspitzen her Richtung proximal. Häufig geschieht diese Wiederaufwärmung in Form einer überschießenden Reaktion auf den Kältereiz (Abbildung 7 an der rechten Hand D1 und D2). Arterielles Blut mit Kerntemperatur strömt in der Tiefe nach distal und von dort oberflächennah venös zurück nach proximal. Die erwärmten Venen können sich dabei wie in Abbildung 8 deutlich von der kühleren Umgebung absetzen. Die Thermomesung gibt nur ein Abbild der Oberflächenerwärmung wieder.

Zur Auswertung der Serien der thermographischen Aufnahmen wurden die Bilder zunächst auf typische Charakteristika des Abkühl- und Wiederaufwärmvorgangs hin untersucht. Dazu wurde eine Klassifizierung des Vorgangs vorgenommen, z. B. danach, ob der Wiederaufwärmvorgang von distal nach proximal oder umgekehrt verläuft, wie schnell die Wiederaufwärmung erfolgte und nach weiteren Kriterien.

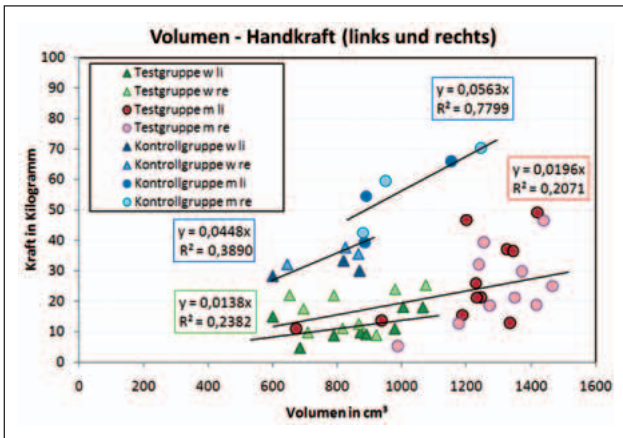
Alle Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.



**Abbildung 7:** Temperaturverlauf entlang Unterarm und Hand während des Wiederaufwärmens. Messkurven des rechten Arms.



**Abbildung 8:** Tonuserhöhung und zunehmende Beugstellung der paretischen Hand bei zunehmender Temperatur. Bei diesem hemiparetischen Probanden erwärmt sich die paretische Hand sehr viel schneller als die gesunde.



**Abbildung 9:** Volumen-Handkraft-Verhältnis bei Kontroll- und Testgruppe

## ■ Ergebnisse

### Zusammenhang zwischen Armvolumen und Greifkraft

Zunächst wird in Abbildung 9 der Zusammenhang zwischen Unterarmvolumen und gemessener Greifkraft für die Test- und die Kontrollgruppe verdeutlicht. Im Diagramm werden außerdem die Messwerte für Männer und Frauen und für rechte und linke Seite unterschieden.

Die durchschnittliche Kraft der Testgruppe liegt bei 13,7 kg bei den Frauen bzw. 25,8 kg bei den Männern. In der Kontrollgruppe sind die Greifkräfte sehr viel höher mit 32,9 kg bei den Frauen und bei den Männern 55,4 kg. Tabelle 1 listet die gemessenen Kraftwerte für die beiden Probandengruppen, wobei noch zwischen linker und rechter Hand differenziert wird. Bei der Testgruppe wird außerdem auch noch zwischen Arbeitshand und Nicht-Arbeitshand unterschieden. In der Kontrollgruppe sind zufällig nur Rechtshänder vertreten, bei denen Arbeits- und Funktionshand identisch mit der rechten Hand sind. In der Testgruppe lässt sich als Folge der Behinderung eine natürliche Handpräferenz nicht mehr feststellen. Die Handdominanz kann bei der Zerebralparese durch die Schädigung überlagert sein. In der Testgruppe ist die Arbeitshand bei 15 von 22 Probanden rechts, bei den übrigen links. Bei 3 Probanden sind außerdem Arbeits- und Funktionshand (d. h., die funktionell bessere Hand) verschieden. Eine Angabe der Greifkräfte bezüglich der Funktionshand wird in Tabelle 1 aber nicht explizit wiedergegeben, da sich die Zahlenwerte kaum von der der Arbeitshand-Einteilung unterscheiden.

Die Unterarme der Probanden der Testgruppe zeigten durchschnittlich 150 ml mehr Volumen als in der Kontrollgruppe,

**Tabelle 1:** Greifkräfte in kg

Testgruppe (links/rechts)	Männlich		Weiblich	
	links	rechts	links	rechts
Mittel	26,5	25,0	11,2	16,2
STD	13,8	12,3	4,8	6,8
Median	21,3	23,1	9,8	15,1
Testgruppe (Nicht-Arbeitshand/ Arbeitshand)	nAH	AH	nAH	AH
Mittel	22,7	28,0	13,2	14,4
STD	12,5	13,1	7,3	5,7
Median	21,2	27,5	9,8	11,9
Kontrollgruppe	links	rechts	links	rechts
Mittel	53,3	57,5	30,6	35,2
STD	13,4	14,1	2,5	2,8
Median	54,5	59,6	30,1	35,6

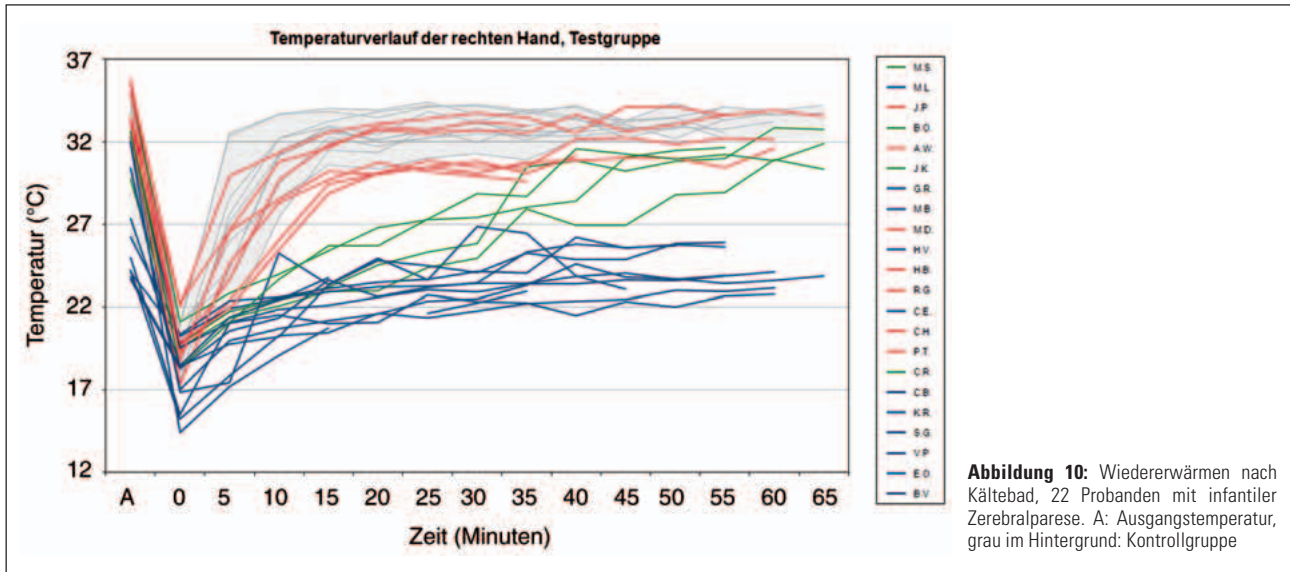
die Hände 50 ml mehr. Das heißt: Obwohl die Probanden der Testgruppe sogar mehr Armvolumen haben als die gesunde Kontrollgruppe, ist ihre Greifkraft sehr viel geringer. Die Kraft pro Volumeneinheit (in kg/cm<sup>3</sup>) ist in der Testgruppe mit 0,014 kg/cm<sup>3</sup> bzw. 0,020 kg/cm<sup>3</sup> nur etwa 1/3 so groß wie in der Kontrollgruppe mit 0,056 kg/cm<sup>3</sup> bzw. 0,045 kg/cm<sup>3</sup> (vgl. die Steigungen der Trendlinien in Abbildung 9). Die Streuung der Werte in der Testgruppe ist sehr viel höher und spiegelt im Wesentlichen die unterschiedliche Schwere der Paresen wider.

Bei 2 Probanden war eine besonders stark ausgeprägte Seiten-Asymmetrie im Volumen der Unterarme zu finden, in einem Fall betrug das Volumen auf der paretischen Seite nur noch 74 % der weniger betroffenen Seite (790 cm<sup>3</sup> zu 1065 cm<sup>3</sup>), im anderen Fall 70 % (830 cm<sup>3</sup> zu 1177 cm<sup>3</sup>). Bei einem dieser beiden Probanden wurde im MRT gezeigt, dass das Volumendefizit ausschließlich zulasten der Muskulatur geht (vgl. Abb. 2).

### Wiederaufwärmung nach dem Kältebad

Die Abkühltemperatur, d. h. die Differenz der Temperatur zwischen der Messung vor dem Wasserbad und der ersten Messung danach, lag bei den Probanden der Testgruppe durchweg höher als bei den Probanden der Kontrollgruppe.

Die Wiedererwärmung erfolgte bei allen Probanden diffus von proximal im Ellenbogen beginnend und in unterschiedli-



**Abbildung 10:** Wiedererwärmen nach Kältebad, 22 Probanden mit infantiler Zerebralparese. A: Ausgangstemperatur, grau im Hintergrund: Kontrollgruppe

cher Geschwindigkeit in den Unterarm einwandernd. In unterschiedlichen Zeitfenstern begann zusätzlich die Erwärmung von distal her, direkt an den Fingerkuppen. Die Erwärmung der Fingerkuppen begann in der Kontrollgruppe deutlich schneller und war bei allen Teilnehmern dieser Gruppe spätestens in der 5. Minute sichtbar.

Bei der Mehrzahl der Probanden mit Zerebralparese gab es für die Erwärmung der Fingerkuppen ebenfalls deutlich erkennbare individuelle Muster, in welcher Reihenfolge sich die Finger erwärmen. Ein übergeordnetes, für alle gemeinsames Muster konnte aber nicht gefunden werden.

Im Gegensatz zur Kontrollgruppe war in der Testgruppe die Zeitspanne des Erwärmungsprozesses deutlich höher. Die Ausgangstemperatur der Hände konnte bei 100 % der Teilnehmer der Kontrollgruppe erreicht werden (mit einer Mess-toleranz von  $\pm 1$  °C). Von der Testgruppe konnten im selben Zeitraum nur 14 % (6 von 42) der Hände wieder ihre Ausgangstemperatur erreichen.

Im Diagramm der Temperaturmittelwerte an den Händen (Abb. 10) zeigt sich, dass sich 3 Gruppen innerhalb der Testgruppe mit unterschiedlichem Temperaturverlauf beim Wiederaufwärmen bilden. Eine Gruppe, bei der sich die Hände schnell wiedererwärmen (rote Kurven in Abbildung 10), vergleichbar den Temperaturkurven der Kontrollgruppe (grau im Hintergrund), eine mit langsamer Erwärmung (blaue Kurven) und eine Gruppe, deren Temperaturverlauf dazwischen liegt, bzw. deren Temperaturverlauf wechselt (grüne Kurven). Bei der dritten Gruppe ist meistens, aber nicht immer, bereits die Ausgangstemperatur erniedrigt. Beide Hände der Probanden der Testgruppe zeigten sich jeweils bezüglich der Gruppenzuordnung identisch, außer bei 3 Probanden. Ein signifikanter Zusammenhang mit weiteren Parametern konnte nicht gefunden werden. Dazu wurden das Alter, die Erkrankung, Geschlecht, motorische Fähigkeiten der oberen Extremität, Arbeitshände, Gewicht, Armvolumen, Kraft, Rauchverhalten und Gehfähigkeit betrachtet. Die Arbeitshände erwärmten sich bei 13 von 22 Probanden der Testgruppe schneller und

bei 11 von 22 wurden die Arbeitshände wärmer als die Gegenseite.

In der Kontrollgruppe zeigte sich, dass sich eher die Nicht-Arbeitshand schneller erwärmte (in 5 von 6 Fällen). Nur in 2 von 6 Messungen zeigte sich eine Mehrererwärmung der Arbeitshand. Die Präferenzhand scheint also keine Relevanz bei der Temperaturregulation der Arme zu haben.

Zu den Schnellerwärmern gehörten alle Probanden der Kontrollgruppe, sowie 15 von 42 Händen der Probanden mit Zerebralparese (36 %). In der Gruppe der Langsamerwärmer waren 19 von 42 Händen der Probanden mit Zerebralparese (45 %). Die Gruppe der Wechsler war die kleinste mit 8 von 42 Händen (19 %). Im Temperaturanstieg der Unterarme konnte eine entsprechende Gruppierbarkeit nicht gefunden werden. Die Kontrollgruppe sowie die Probanden mit Zerebralparese lagen mit größerer Streuung im ein und demselben Bereich.

Eine normale, vasoaktiv überschießende Erwärmung (vgl. Abb. 8) in den Händen ist nur bei 9 von 22 (41 %) Teilnehmern der Testgruppe sichtbar, bei der Kontrollgruppe in 5 von 6 (83 %) Fällen. Das Ausmaß der Überschussreaktion ist unterschiedlich. Bei einzelnen Probanden der Testgruppe wiederholte sich diese Überschussreaktion in gleichmäßigem Zeitabstand, aber bei abnehmender Amplitude. Bei der Überschussreaktion fiel immer ein symmetrisches Verhalten der rechten und linken Seite auf, auch wenn diese unterschiedliche Temperaturniveaus hatten.

Die Probanden mit Zerebralparese gaben an, dass sich die Spastik während des Kaltwasserbades verringerte. Je wärmer der Arm im Verlauf des Wiederaufwärmens wurde, umso mehr erhöhte sich auch der pathologische Tonus wieder. Dies wurde meist aus den Aussagen der Probanden deutlich und teilweise auch in den Aufnahmen sichtbar. In Abbildung 8 ist dies an einem Beispiel zu sehen: Die Tonuserhöhung wird durch die Muskelkontraktion und die daraus folgende spastische Gelenkstellung der Hand sichtbar. Das spastische Muster



geht meist, wie auch im Beispiel der Abbildung 8, in Richtung Flexion des Ellenbogens, des Handgelenks und der Finger, sowie einer radialen Abduktion und Pronation des Handgelenks. Dem Betroffenen fällt es mit zunehmender Erwärmung schwerer, gegen die unwillkürliche Kontraktion der Muskulatur standzuhalten. Auffällig ist in diesem Beispiel der eher untypisch schnelle Temperaturanstieg in der betroffenen Hand.

Um einen Zusammenhang zwischen Armvolumen und Greifkraft und der Geschwindigkeit der Erwärmung zu finden, wurde die Wiederaufwärmung den Werten von Volumen und Kraft gegenübergestellt. Es konnte in der Kontroll- und Testgruppe weder ein Zusammenhang zwischen Volumen und Erwärmungsgeschwindigkeit noch zwischen Kraft und Erwärmungsgeschwindigkeit gefunden werden. Die Abkühlung der oberen Extremitäten scheint bei Probanden unabhängig vom Armvolumen zu sein. Das Volumen scheint also auch keine Rolle bei der Wiederaufwärmung zu spielen.

Abbildung 2 zeigt ein MRT-Querschnittsbild durch die Mitte der Unterarme bei einer Probandin der Testgruppe mit ausgeprägter spastischer Hemiparese. Es zeigt sich, dass das Muskelvolumen auf der paretischeren Seite noch erheblich stärker reduziert ist als das bereits reduzierte Gesamtvolumen des paretischen Arms. Der Fettanteil bleibt dagegen weitgehend unverändert. Dies verstärkt die bereits genannte Feststellung, dass das Muskelvolumen bei passiver Aufwärmung keinen Einfluss auf den Verlauf der Wiederaufwärmung hat. Allgemein zeigte sich, dass Probanden mit mehr Kraft in den oberen Extremitäten keinen schnelleren Temperaturanstieg zeigten. Bei einzelnen Probanden der Testgruppe wurde die Messreihe mit gymnastischen Bewegungen während des Wiederaufwärmens wiederholt. In diesen Fällen erfolgte die Wiederaufwärmung dann deutlich schneller, aber immer noch erheblich reduziert im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Bei der Probandin aus Abbildung 2 wurde außerdem ein Funktions-MRT des Kopfes bei abwechselnden Greifbewegungen der Hände angefertigt. Der zerebrale Schaden ist ausschließlich auf den linken Kortex beschränkt.

Die farbige Markierung in den fMRT-Bildern zeigt die bei der jeweiligen Greifbewegung aktivierte Region im Gehirn auf. Bei motorischer Aktivität der paretischen rechten Hand verteilt sich die zerebrale Aktivierung auf beide Hemisphären, beim Bewegen der nicht betroffenen linken Seite zeigt sich ein normales physiologisches Aktivitätsmuster der herdkreuzten Seite.

Bei EMG-Messungen der elektrischen Muskelaktivität der Handbeugemuskulatur zeigte sich bei dieser Probandin eine starke Koaktivierung der Muskulatur der jeweils nicht aktiven Hand, auffällig in beide Richtungen. Diese Probandin hat eine ausgesprochen langsame Wiederaufwärmung trotz beruflicher Tätigkeit in Bewegung und sportlicher Betätigung.

Diese EMG-Aktivitätsmessungen wurden bei weiteren 11 Patienten der Testgruppe und bei den 6 gesunden Probanden wiederholt. Die starke Koaktivierung der Muskulatur auf der kontralateralen Seite wurde nur bei einem weiteren Proban-

den gefunden, bei 3 Probanden in geringer Ausprägung, bei der gesunden Kontrollgruppe in keinem Fall.

## ■ Diskussion

Bei Menschen mit Zerebralparese fallen in Verbindung mit motorischen Einschränkungen sehr häufig trophische Störungen der Extremitäten auf. Zur Erforschung dieser Fragen wurde eine Studie mit Kälteexpositionstests an Unterarmen und Händen durchgeführt. Nach 10 Min. Abkühlung wurde das Wiederaufwärmverhalten der oberen Extremitäten in thermographischen Aufnahmen festgehalten. Um Zusammenhänge mit den motorischen Einschränkungen finden zu können, wurden Kraft- und Volumenmessungen durchgeführt, außerdem Messungen der elektrischen Muskelaktivität.

Nur  $\frac{1}{3}$  der 22 Probanden mit infantiler Zerebralparese zeigte ein normales Wiederaufwärmverhalten wie die Kontrollgruppe mit gesunden Probanden. Die Hälfte der Probanden zeigte eine extrem verzögerte Wiederaufwärmung und erreichte die Ausgangstemperatur auch nach einer Stunde bei Weitem nicht. Diese Defizite bei der Temperaturregulation traten unabhängig von den weiteren gemessenen Parametern auf (Greifkraft der Hand, Lateralität bei Hemiparese, Alter der Probanden, Geschlecht und motorische Fähigkeiten der oberen Extremität). Auch das Volumen der Hand und des Unterarms spielte dabei keine Rolle, obwohl eigentlich anzunehmen ist, dass eine Masse mit weniger Volumen in derselben Zeit mehr durchgekühlt wird. Andererseits erwärmt sich eine geringere Masse schneller wieder und die Temperatursteigerung könnte schneller bis zur Oberfläche durchdringen. Die Thermographie kann keine Erkenntnisse darüber liefern, wie tief die Strukturen der Hand und des Arms durchgekühlt waren.

Die Abkühltemperatur, d. h. die Differenz zwischen der Messung vor dem Wasserbad und der ersten Messung danach, lag bei den Probanden der Testgruppe höher als bei den Probanden der Kontrollgruppe. Bei den gesunden Probanden beginnt vermutlich schon während des Wasserbades eine vasoaktive Gegenreaktion gegen die Unterkühlung.

Besonders auffällig war die gegenüber der Kontrollgruppe auf  $\frac{1}{3}$  reduzierte spezifische Greifkraft der Probanden, das ist die Kraft pro Volumeneinheit des Unterarms, obwohl bei ihr das mittlere Armvolumen sogar etwas größer war als in der Kontrollgruppe. Dieser deutliche Unterschied kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Ein Grund wäre, dass die Probanden der Testgruppe mit infantiler Zerebralparese in ihrem gesamten Alltag beidseitig weniger aktiv sind. Die Muskulatur bei den Probanden mit Zerebralparese kann nicht in vollem Umfang willkürlich aktiviert werden. Die unwillkürliche reflektorische Muskelaktivität ist bei Menschen mit Spastik dagegen oft sehr hoch. Möglicherweise ist auch ein Teil der Muskelmasse nicht mehr so differenziert. Im MRT zeigt sich bei der Spastik ein gravierender Verlust an Muskelvolumen [16]. Ein Vergleich zwischen der Greifkraft der Probanden und der Wiederaufwärmdauer zeigt aber keinen Zusammenhang. Die nicht aktivierte ruhende Muskulatur trägt offenbar nicht zur schnelleren Wiederaufwärmung bei.

Unilaterale zerebrale Schädigungen im MRT haben erwartungsgemäß unilaterale motorische Einschränkungen zur Folge, die vegetativen Symptome sind jedoch nicht streng einseitig lokalisiert oder können sogar kontralateral auftreten. Möglicherweise liegen auch bei fokalem Schaden nicht offensichtliche, globale morphologische Beeinträchtigungen vor. Bei einseitigem Schaden sind durchaus hemisphärenübergreifende Aktivitäten im Funktionskernspin und im EMG zu erkennen, die die sonst strikte Hemisphärentrennung aufweichen. Die überspringenden Reaktionen im EMG im Sinne eines „cross talks“ könnten aber auch auf persistierende frühkindliche Reflexe zurückgeführt werden.

Husman [17] verwendet den Begriff „funktionelle Durchblutungsstörungen“ für Krankheitsbilder, bei denen es zu einer Engstellung oder Erweiterung der Gefäße kommt, ohne dass organische Gefäßveränderungen vorliegen. Die häufigste funktionelle Durchblutungsstörung stellt das primäre Raynaud-Phänomen dar, aber auch der Akrozyanose liegen funktionelle Störungen zugrunde. Bei der Akrozyanose handelt es sich um eine länger dauernde Episode, bei der die initiale arterielle Vasokonstriktion sekundär zur Dilatation der Kapillaren und Venulen mit zyanotischer Verfärbung der betroffenen Areale führt. Die Symptome verstärken sich in der kalten Jahreszeit. Trophische Hautläsionen treten in der Regel nicht auf, jedoch kann bei diesen Patienten häufig eine Hyperhidrose beobachtet werden. Diese beschriebene Symptomatik ist aus der klinischen Untersuchung bei Zerebralparese bestens bekannt. Dennoch ist diese Zuordnung als reine funktionelle Durchblutungsstörung bei der infantilen Zerebralparese nicht als gesichert zu sehen.

Zwar sprechen das im Mittel, aber nicht in allen Einzelfällen gemeinsame Auftreten von muskulärer Schwäche im Vergleich zur Kontrollgruppe und der Störungen der Thermoregulation für eine funktionelle Durchblutungsstörung. Das extreme Ausmaß der Temperaturregulationsstörungen lässt sich aber nicht allein durch muskulären Mindergebrauch erklären. Es kann deshalb durchaus sein, dass eine generalisierte morphologische Schädigung in der hypothalamisch-epiphysären Achse vorliegt, die zu einer Dysregulation der Gefäße führt. Bei der Interpretation berücksichtigt werden sollte aber, dass an dieser Studie überwiegend schwerwiegend bewegungsbehinderte Personen teilgenommen haben.

Unabhängig von der organischen Ursache sollte in Anbetracht der z. T. extrem verzögerten Wiedererwärmung und der schwach ausgeprägten vasoaktiven Gegenreaktion gegen Kältereize als Folge der infantilen Zerebralparese ein regelmäßiges Gefäßtraining empfohlen werden. Mangelnde Bewegung bei Rollstuhlfahrern beinhaltet zudem ein erhöhtes Auskühlungsrisiko. Natürlich ist eine kälteschützende Kleidung unerlässlich.

### ■ Interessenkonflikt

Die Studie wurde ausschließlich aus eigenen Mitteln finanziert. Es bestehen deshalb keinerlei Interessenkonflikte.

### ■ Relevanz für die Praxis

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die Extremitäten von Menschen mit Zerebralparese unter Kälteeinwirkung deutlich langsamer erwärmen. Im Alltag sind Menschen mit Zerebralparese den Temperaturen der Umwelt aber im selben Ausmaß ausgesetzt wie Menschen ohne Zerebralparese. Die schlechtere Wärmeregulation führt zu einer stärkeren Auskühlung, eine Minderdurchblutung des Gewebes verringert dessen Belastungstoleranz und kann damit das Risiko eines Dekubitus erhöhen. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die Betroffenen mehr vor Kälteeinfluss geschützt werden und mehr Zeit für eine Wiedererwärmung brauchen. Viele der Probanden hatten während der Kühlung in den oberen Extremitäten einen auffallend geringeren Muskeltonus, das heißt, die Gelenke konnten besser passiv und oft auch aktiv bewegt werden. Die Therapiemethode des Kältereizes ist unter anderem aus dem Konzept der propriozeptiven neuromuskulären Fazilitation (PNF) bekannt und wäre nachvollziehbar.

### Literatur:

1. Stotz S. Therapie der infantilen Cerebralparese. Pflaum-Verlag, München, 2000.
2. Feldkamp M, von Aufschnaiter D, Baumann J, et al. Krankengymnastische Behandlung der infantilen Zerebralparese. Pflaum-Verlag, München, 1989.
3. Rosner B, Rumberger E, Tillmann B. Krankengymnastik. Bd. 4.: Funktionelle Anatomie des Bewegungsapparates, Physiologie, Allgemeine Krankheitslehre. 3. Aufl. Thieme-Verlag, Stuttgart, 1990.
4. Trebsdorf M. Biologie. Anatomie. Physiologie: Lehrbuch und Atlas. Ein Standardwerk der Anatomie. Lau-Verlag, Reinbek, 2009.
5. Klinker R, Silbermagel S. Lehrbuch der Physiologie. 4. Aufl. Thieme-Verlag, Stuttgart, 2005.
6. Deussen A. Hyperthermie und Hypothermie – Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System. Anaesthesist 2007; 56: 907–11.
7. Wood E, Rosenbaum P. The Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy: a study of reliability and stability over time. Dev Med Child Neurol 2000; 42: 292–6.
8. Sandstrom K, Alinder K, Oberg B. Descriptions of functioning and health and relations to a gross motor classification in adults with cerebral palsy. Disabil Rehabil 2004; 26: 1023–31.
9. Beckung E, Hagberg G. Neuroimpairments, activity limitations, and participation restrictions in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 2002; 44: 309–16.
10. Bax M, Goldstein P, Rosenbaum P, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. Dev Med Child Neurol 2005; 47: 571–6.
11. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infra red imaging in medicine. Thermology Int 2000; 10: 7–14.
12. Lampe R, Graßl S, Mitternacht J, et al. MRT-measurements of muscle volumes of the lower extremities of youths with spastic hemiplegia caused by cerebral palsy. Brain Dev 2006; 28: 500–6.
13. Husmann M, Amann-Vesti B. Physiologie und Pathophysiologie der arteriellen und venösen Mikrozirkulation. Schweiz Med Forum 2010; 10: 643–6.

### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Renée Lampe

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Schwerpunkt Kinderneuroorthopädie und Zerebralparesen, Gang- und Bewegungsanalyselabor

Technische Universität München

Klinikum rechts der Isar

D-81675 München, Ismaninger Straße 22

E-Mail: renee.lampe@lrz.tu-muenchen.de

# Mitteilungen aus der Redaktion

## Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

[Bilddatenbank](#)

[Artikeldatenbank](#)

[Fallberichte](#)

## e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

[Bestellung e-Journal-Abo](#)

## Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)