

# Kryotherapie: Praxis, Theorie und die Evidenzlage

Erich Hohenauer, Ron Clijsen, Peter Clarys

Behandlungsparadigmen sollten in der Sportphysiotherapie regelmäßig aktualisiert werden, basierend auf dem aktuellen Stand der Forschungsergebnisse. Das gilt insbesondere auch für den Einsatz von Kälte im Sport.

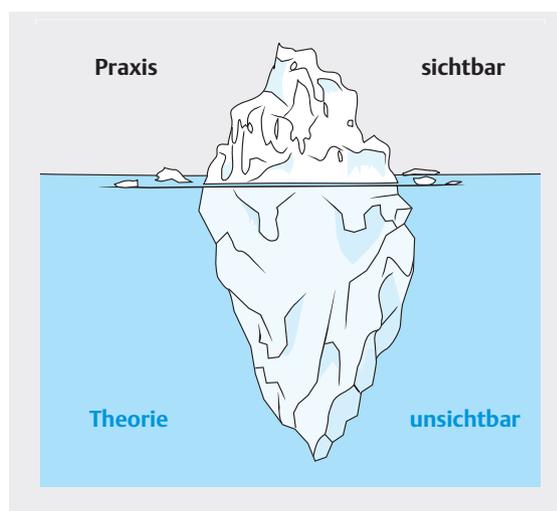
## Einleitung

Das Wort Kryotherapie kann unterschiedlich interpretiert werden, je nachdem in welchem Fachgebiet es angewendet und genutzt wird. Kühlapplikationen werden schon sehr lange eingesetzt, um verschiedene Wirkungen zu erzielen. Bereits im alten Ägypten wurden die verletzten Arbeiter beispielsweise mit Kältekompressen behandelt. Seit jeher bestehen die primären Ziele der traditionellen Kältetherapie darin, Schmerzen zu lindern, Entzündungsreaktionen zu dämpfen und Schwellungen nach Verletzungen zu reduzieren, mit unterschiedlicher wissenschaftlicher Beweislage. Seit einiger Zeit nimmt jedoch das Interesse an der Kryotherapie in der Sportphysiotherapie durch relativ neue Anwendungsformen erneut zu. Moderne Behandlungen mittels Kryotherapie zielen nicht nur auf die Behandlung von sportlichen Verletzungen ab, sondern auch auf eine verbesserte/gesteigerte Leistungs- und Erholungsfähigkeit. Bei der Kältetherapie sehen wir oft nur die Spitze des Eisberges, welcher den Praxisanteil symbolisiert. Die Theorie dahinter sowie die Evidenzlage bleiben dabei oft unter der Oberfläche verborgen (► **Abb. 1**).

## Lokale Kryotherapie

### Schmerzreduktion

Kältepackungen und lokale Eisanwendungen sind nur zwei von zahlreichen klassisch-topischen Anwendungsformen, die in der Sportphysiotherapie zur Behandlung nach akuten Verletzungen verwendet werden. Bei der Erstbehandlung dieser Verletzungen geht es primär darum, die Schmerzen zu reduzieren. Die kälteinduzierte Analgesie lässt sich dabei auf mehrere Mechanismen zurückführen, wie beispielsweise auf die reduzierte sensorische und motorische Nervenleitgeschwindigkeit [15], die Rezeptorfeurrate und den Muskelspasmus [8]. Um jedoch eine klinisch relevante Schmerzreduktion zu erreichen, muss eine Hauttemperatur von  $< 13^{\circ}\text{C}$  erreicht werden, was mit einer signifikanten Reduktion der Nervenleitgeschwindigkeit einhergeht [3].



► **Abb. 1** Bei der Kältetherapie sehen wir mit der Praxis – im wahrsten Sinne – oft nur die Spitze eines Eisbergs. Die Theorie und damit der größte Teil des Wissens bleibt unsichtbar. (Quelle: Thieme Gruppe)

### Wärmeentzug

Trotz der Vielzahl an Möglichkeiten der lokalen Kältetherapieapplikationen ist die Wirkung all dieser Anwendungen auf dieselben physiologischen Prozesse im Gewebe zurückzuführen. Die unterschiedlichen lokalen Kälteapplikationsmöglichkeiten verfolgen dasselbe Ziel, nämlich der betreffenden Körperstelle die Wärme zu entziehen. Dies könnte mit ein Grund dafür sein, warum in der Praxis in Bezug auf die Behandlungsdauer kein Unterschied zwischen den verschiedenen Applikationsformen gemacht wird. Es ist jedoch unumstritten, dass jedes Kältemittel seine eigene thermische Leitfähigkeit besitzt, die beschreibt, in welchem Ausmaß die Wärme durch ein Material geleitet wird. Darum verfügen die unterschiedlichen Kälteapplikationen auch über ein unterschiedliches Kühlpotenzial.

## EINFLUSSFAKTOREN

Ein Faktor, der mitbestimmend ist für die Modulation der thermischen Leitfähigkeit, ist der Aggregatzustand eines Materials. Wenn sich der Aggregatzustand eines Materials verändert (z. B. von fest zu flüssig), dann verändert dieser Phasenübergang des entsprechenden Materials die thermische Leitfähigkeit meist stark.

Im Bereich der traditionellen Kältetherapie werden vom Prinzip her primär zwei Arten der lokalen Kälteapplikationen in verschiedenen Modalitäten verwendet: verpackte Kälte (z. B. Kältepackungen) und unverpackte Kälte (z. B. direkte Eiswendungen). Dabei ist es so, dass die verpackten Kälteapplikationen mit sehr tiefen Temperaturen, teilweise im zweistelligen Minusbereich (unter  $-10^{\circ}\text{C}$ ), auf die Haut appliziert werden. Unverpackte Kälteapplikationen weisen hingegen eine Temperatur im Applikationsbereich von rund  $0^{\circ}\text{C}$  auf.

Obwohl die verpackten Kälteapplikationen mit viel tieferen Temperaturen verabreicht werden, verfügen direkte Eisapplikationen über ein höheres Potenzial, um dem Körper die Wärmeenergie zu entziehen. Dies basiert, neben der Eigenschaft des Mediums selbst, auf dem Schmelzvorgang, welcher zu einer Aggregatzustandsänderung und somit zu einer Erhöhung der thermischen Leitfähigkeit führt [23]. Untersuchungen zeigten bereits, dass „Crushed Ice“ die lokale Hauttemperatur, die je nach Körperregion unterschiedlich hoch ist, unter  $10^{\circ}\text{C}$  reduzieren kann [21]. Diese schnelle und starke Temperaturreduktion, die bereits nach 5–15 min erreicht werden kann, spielt eine Schlüsselrolle, wenn die Zielsetzung der Maßnahme eine schnelle und effektive Schmerzlinderung ist. Andere Kühlapplikationen, wie z. B. Kühlgels, aber auch Wasser alleine, zeigen sich im Vergleich zu „Crushed Ice“ weniger effektiv, um die kritische Grenze der Hauttemperatur von  $13^{\circ}\text{C}$  zu unterschreiten [4][21].

## Reduktion von Gewebeschädigungen

Die unterschiedlichen Kälteapplikationen werden jedoch nicht nur eingesetzt, um die Hauttemperatur zu reduzieren, sondern in zweiter Instanz, um die sekundäre, hypoxische und enzymatische Schädigung des Gewebes zu reduzieren [23]. Gemäß der Van't-Hoff-Regel reduziert sich die chemische Reaktionsfähigkeit um das 2–3-Fache, wenn die Gewebetemperatur um  $10^{\circ}\text{C}$  abnimmt. Dies stellt, zumindest aus chemischer Sicht, eine gewisse Begründung für die Verwendung von Kälte nach Verletzungen dar: Durch gezielte Senkung des Metabolismus hält man die Gesamtschädigung des betreffenden Gewebes so gering wie möglich. Aus heutiger Sicht wird angenommen, dass die klinischen Ergebnisse positiv beeinflusst werden können, wenn die Gewebetemperatur möglichst schnell, umfangreich und stark reduziert wird.

Kälteapplikationen können, sofern sie früh und effizient angewendet werden, zelluläre und physiologische Schlüsselemente nach Weichteilverletzungen positiv beeinflussen. Einer der wichtigsten zellulären Effekte, der durch Kälteapplikationen nach Verletzungen erreicht werden kann,

ist die Reduktion des Metabolismus des betroffenen und umliegenden Gewebes. Die Reduktion des metabolischen Bedarfes erlaubt es den Zellen im betreffenden Gebiet, das ischämische Milieu besser zu tolerieren, welches unmittelbar nach der Verletzung eintritt. Weitere positive Effekte lassen sich auf die Reduktion der Zellapoptose sowie auf die Aktivität der weißen Blutkörperchen innerhalb des Gefäßsystems zurückführen, die durch den „oxidativen Burst“ (Bildung von Sauerstoffradikalen) einen negativen Einfluss auf die Wundheilung haben können. Somit kann das Gewebe vor sekundärer Zellschädigung und dem Zelltod potenziell geschützt werden [5].

## Zeitlicher Aspekt

Je früher die Kältetherapie nach Verletzungen stattfindet, desto größer wird die Reduktion des Gewebemetabolismus ausfallen [2][27]. Entgegen der oftmals gängigen Meinung können Kälteapplikationen jedoch auch zu einem späteren Zeitpunkt eingesetzt werden, um die Geweberegeneration positiv zu beeinflussen. Die physiologischen Reaktionen, die 24 bis 48 Stunden nach der Verletzung mittels Kälte ausgelöst werden, können jedoch nicht mit den akuten Reaktionen verglichen werden, was oft zu Fehlinterpretationen führt. Eine Behandlung mittels Kälte außerhalb der akuten Phase nach Gewebsverletzungen kann in Kombination mit Bewegungstherapie sehr effektiv sein. Adäquates Kühlen kann nicht nur zur Schmerzreduktion beitragen, sondern auch den Muskelspasmus und die neuronale Inhibition senken und somit eine frühfunktionelle Therapie erlauben [2]. Auch wenn Kältetherapie die Einnahme von Schmerzmedikamenten in der subakuten Phase reduzieren kann, sind es doch die mechanischen Reize auf das Gewebe, die schließlich die Belastbarkeit wiederherstellen und zu morphologischen Veränderungen führen [2][3].

## Quantitativer Aspekt

Es ist jedoch schwierig, das exakte Maß der Tiefenkühlung sowie einen exakten Grenzwert der Gewebetemperatur zu bestimmen. Die Hauttemperatur ist ein schlechter Prädiktor, wenn es darum geht, die Temperatur des Muskelgewebes zu bestimmen. Der bisherige Wissensstand ist primär auf die Ergebnisse von Tierversuchen gestützt. Bleakley und Hopkins meinen, dass der Gewebemetabolismus optimal reduziert werden kann, wenn eine Gewebetemperatur zwischen  $5$  und  $15^{\circ}\text{C}$  erreicht wird [6]. Aus unserer Sicht erscheint es jedoch schwierig, solche niedrigen Gewebetemperaturen selbst mit „Crushed Ice“ in der Praxis zu erreichen. Eine der niedrigsten Gewebetemperaturen, die bis dato bei gesunden Probanden im oberflächigen Muskelgewebe (in 1 cm Tiefe) gemessen wurde, liegt bei ungefähr  $21^{\circ}\text{C}$  – nachdem das Gewebe 20 min mit „Crushed Ice“ gekühlt wurde [27]. Zudem waren die Probanden gesund und besaßen einen geringen Anteil an subkutanem Fett (Oberschenkelhautfalte  $< 10$  mm). Die Senkung der Temperatur des oberflächigen Muskelgewebes auf das erforderliche Maß ist darum nicht so einfach zu erreichen.

## Physikalische Grenzen

Aufgrund der wärmeisolierenden Eigenschaften des Fettgewebes ist der Wärmeentzug in der Tiefe ein anderer als an der Oberfläche. Die thermische Leitfähigkeit von Fettgewebe ist im Vergleich zu Muskelgewebe nur halb so groß (0,23 W/[m·K] vs. 0,46 W/[m·K]), wie auch die Wärmedifusivität (Temperaturleitfähigkeit) [12]. Tatsächlich könnte darum das Potenzial, großflächige und schnelle Veränderungen im tiefliegenden Gewebe hervorzurufen, auf eine ektomorphe (schlanke Körperkonstitution), athletische Population beschränkt sein oder zumindest auf Körperregionen, in denen der subkutane Fettanteil gering ist.

Das Wort „tiefliegend“ muss jedoch mit Vorsicht verwendet werden. In der Praxis wird nur sehr selten evaluiert, in welcher Tiefe sich beispielsweise eine muskuläre Verletzung befindet. Es ist jedoch bekannt, dass das Muskelgewebe in den oberflächigen Regionen die Wärme an die Haut mittels Konduktion abgibt. Die Thermodynamik ändert sich jedoch, wenn man sich die Wärmeweiterleitung in den tieferen Schichten ansieht. Gemäß dem Fourierschen Gesetz wird die Wärme des tiefliegenden Muskelgewebes primär an das oberflächige Muskelgewebe abgegeben. Da der Temperaturgradient zwischen diesen Geweben jedoch minimal ist, können nur minimale Temperaturunterschiede stattfinden [25]. Würde die sich verändernde Gesetzmäßigkeit der Thermodynamik nicht berücksichtigt werden, würde der Wärmeentzug theoretisch mit gleichbleibender Rate durch alle Gewebeschichten hindurch gleichermaßen stattfinden. Dies bedeutet, dass die Wärmeabgabe von tiefer gelegenen Gewebeschichten zur Oberfläche einem nichtlinearen Verlauf folgt. Tatsächlich sieht man jedoch bei ektomorphen Personen, dass bei lang andauernden Kälteapplikationen von 20 min die Muskeltemperatur in einer Tiefe von 3 cm um 9 °C und in einer Tiefe von 1 cm um 15 °C gesenkt werden kann [27].

## Risiken lokaler Kälteapplikationen

In der Praxis sind die optimalen Voraussetzungen (z. B. Körperkonstitution) für tiefliegende Gewebekühlungen oft nicht gegeben und benötigen eine Anpassung der Kühdauer und -temperatur. Mit einer Verlängerung der Behandlungsdauer in Kombination mit niedrigen Temperaturen steigt jedoch das Risiko von Haut- und Nervenverletzungen. Sowohl im tiefen wie auch im oberflächigen Muskelgewebe kann beobachtet werden, dass ein Nachkühlungseffekt (Afterdrop) stattfindet. Dieser Effekt wird auch hier stark vom subkutanen Fettgewebe und von der Gewebetiefe bestimmt. Je mehr überliegendes subkutanes Fettgewebe vorhanden ist, desto mehr Zeit wird benötigt, bis die maximale Temperaturreduktion nach der Kühlung erreicht wird. Je weniger Fettgewebe zwischen der Haut und dem oberflächigen Muskelgewebe liegt, desto ähnlicher ist das Muster der Temperaturreduktion zwischen diesen beiden Strukturen. Dies kann durch die fortschreitende Umkehrung des Temperaturgradienten zwischen

## SUBKUTANES FETT

Subkutane Fettzellen (Adipozyten) sind in Zellverbänden mit lockerem Bindegewebe organisiert. Unterhautfett dient u. a. der Wärmeisolation und ist ein Energiespeicher. Die Dicke der subkutanen Fettschicht, die das verletzte Gewebe bedeckt, ist ein Faktor, welcher die Geschwindigkeit der Temperaturabnahme sowie die absolute Temperaturabnahme im Gewebe mitbestimmt [26]. Sie unterliegt, je nach Körperregion, Geschlecht, Trainingszustand und Alter gewissen Schwankungen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in 1 cm Muskeltiefe, bei einem subkutanen Fettanteil von < 1 cm und der Verwendung von „Crushed Ice“ die Kühlrate bei 0,72 °C/min liegt. Bei einem subkutanen Fettanteil von ungefähr 1,4 cm liegt die Kühlrate nur noch bei ca. 0,45 °C/min, was einer ungefähr 38%igen Reduktion entspricht. Eine ca. 65%ige Reduktion kann beobachtet werden, wenn der subkutane Fettanteil ungefähr 2,5 cm beträgt, was einer Kühlrate von 0,25 °C/min entspricht [27]. Diese Observations bestätigen, dass eine signifikant inverse Beziehung zwischen der Menge an subkutanem Fettgewebe und der intramuskulären Abkühlung besteht.

dem oberflächigen und dem tiefen Gewebe erklärt werden. Während das tiefliegende Gewebe weiterhin Wärme an die oberflächigen Schichten abgibt, erwärmt sich diese oberflächige Schicht bereits, um wieder die Ausgangstemperatur zu erreichen [10].

## Implikationen für die Praxis

Aufgrund der Verfügbarkeit sowie der einfachen Handhabung von Kühlapplikationen sind diese therapeutischen Maßnahmen sehr beliebt bei schnellen Behandlungen am Spielfeldrand oder in der Halbzeit. Man muss sich jedoch die Frage stellen, ob eine Kühlapplikation unbedenklich angewendet werden kann oder aber sogar ein potenzielles Risiko für erneute oder weitere Verletzungen darstellt. So wurde bereits bestätigt, dass diverse Kälteapplikationen (Dauer: 5–20 min) die propriozeptive Fähigkeit sowohl der oberen als auch der unteren Extremitäten negativ beeinflussen können [11]. Da im Moment noch keine eindeutige Aussage über die exakte Dauer, Körperregion sowie die Einflussgröße der Kälte gemacht werden kann, sollten Sportphysiotherapeuten und Trainer vorsichtig sein, wenn Athleten direkt nach Kälteapplikationen sportliche Aktivitäten durchführen.

*Der Einsatz von Kälteapplikationen nach Verletzung ist nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Thema, wobei sich das meiste Wissen auf persönliche Erfahrungen und eine empirische Datenlage stützt.*



► **Abb. 2** Das komplexe System der Wärmeregulierung und die Interaktionen zwischen dem Körper und der Umwelt. (Quelle: Thieme Gruppe nach Angaben von E. Hohenauer)

Die allgemeine Rechtfertigung für die Verwendung von Kälteapplikationen liegt darin, den sekundären Gewebeschaden zu minimieren [19]. Bezüglich des Einsatzes von Kälteapplikationen müssen die oben genannten Aspekte berücksichtigt werden und es muss weiter evaluiert werden, ob man das betreffende Gewebe mit der Kälteapplikation der Wahl ausreichend beeinflussen kann.

## Globale Kryotherapie im Sport

Neben dem lokalen Einsatz von Kältetherapie hat sich seit einiger Zeit vermehrt die Anwendung von globalen Kältebehandlungen in der Sportphysiotherapie und Sportwissenschaft etabliert. Diese Kältebehandlungen beziehen sich auf mehrere Körperabschnitte oder den gesamten Körper mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit und Erholung zu verbessern.

### Kryotherapie und Leistungsfähigkeit

Es ist bereits bekannt, dass eine Erhöhung der Temperatur des Körpers zu einer verminderten Leistungsfähigkeit führen kann. Die Dichotomie der Einteilung der Körpertemperatur in eine Körperkern- und Schalen- bzw. Hauttemperatur beim Menschen, die unterschiedlich reguliert

wird, ist bemerkenswert [24]. Normalerweise ist die Körperkern- und Hauttemperatur höher als die Umgebungstemperatur, sodass die Wärme vom Körperinneren an die Haut und dann an die Umwelt abgegeben werden kann. Während körperlicher Belastung oder wenn heiße Umgebungstemperaturen herrschen, muss die angesammelte Wärme abgegeben werden. Um das menschliche Funktionieren bei höheren Außentemperaturen zu gewährleisten, findet die Wärmeabgabe primär über vier Wege statt: Evaporation (Verdunstung), Radiation, Konvektion und Konduktion (► **Abb. 2**).

### Hitze vermindert Leistungsfähigkeit

Heiße und feuchte klimatische Umgebungen können die Leistungsfähigkeit negativ beeinflussen. Kältebehandlungen mit dem Ziel, die Körperkerntemperatur, die Hauttemperatur oder die intramuskuläre Temperatur zu senken, werden vor allem bei körperlicher Aktivität unter heißen und feuchten Umweltbedingungen verwendet. Es gibt zahlreiche externe, interne und gemischte Kältetherapieformen, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Unter normalen Umweltbedingungen (um 21 °C) wird der größte Teil der körperlichen Wärme via Radiation freigesetzt, während die Wärmeabgabe, sobald die Umgebungstemperatur höher ist als die menschliche Körpertemperatur (> 38 °C), vor allem über Evaporation stattfindet [33]. Diese Art der Wärmeabgabe ist direkt von der Luftfeuchtigkeit abhängig.

### Vorkühlen verbessert die Leistung

Nimmt die Luftfeuchtigkeit zu, reduziert sich das Dampfdruckgefälle zwischen der Haut und der Umgebung und führt somit auch zu einer reduzierten Evaporationsrate bzw. Wärmeabgabe [22]. Die verminderte Wärmeabgabe und die vermehrte Arbeit des Körpers, welche geleistet werden muss, um die zusätzliche Wärme abzutransportieren, werden darum einen negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben. In der Literatur wird berichtet, dass mittels Vorkühlung des Körpers während einer hohen Umgebungstemperatur (> 26 °C) und hohen Luftfeuchtigkeit (30–80 %) die Leistungsfähigkeit signifikant positiv beeinflusst werden kann [16][34]. Die Vorkühlung des Körpers zeigt ebenfalls schon bei moderaten Umgebungstemperaturen einen positiven Einfluss, jedoch wurden Leistungssteigerungen im Ausdauerbereich von bis zu etwa 9 % nur unter heißen Bedingungen beobachtet [34].

Das reduzierte Herzzeitvolumen scheint, neben anderen Faktoren, eine limitierende Schlüsselrolle zu übernehmen während anhaltender Wärmeproduktion und bei Unvermögen, diese abzugeben [22][34]. Es ist darum nicht überraschend, dass vor allem Ausdauersportarten von Vorkühlmaßnahmen positiv beeinflusst werden.

Generell gibt es zwei Ansätze, um die Wärmespeicherkapazität des Körpers zu erhöhen: die Senkung der Körperkerntemperatur durch *Einnahme von kalten Getränken und*

„Crushed Ice“ oder durch die Reduktion der Körperschalentemperatur mittels *externer Kälteapplikationen* (z. B. Kühlwesten oder Kaltwasserbad). Es zeigt sich, dass eine Senkung der Hauttemperatur einen genauso großen Stellenwert einnimmt wie die Senkung der Körperkerntemperatur, da damit der Temperaturgradient erhöht und somit der Wärmefluss ebenfalls positiv beeinflusst werden kann.

### Reduktion der Körperschalentemperatur

Die aktuelle Evidenzlage empfiehlt, dass *Kaltwasserbäder* (8–14 °C für 10–20 min), aber auch Wasserbäder von 23–24 °C für 30–60 min die Ausdauerleistungsfähigkeit positiv beeinflussen können [7][16][20][30]. Die Problematik der Anwendung von Vorkühlungen mittels Kaltwasserbädern ist vor allem die Herausforderung der Logistik und der fehlenden Selektivität bei der Auswahl der Muskulatur, die gekühlt wird. Denn eine Veränderung der intramuskulären Temperatur der Hauptarbeitsmuskeln kann die Leistungsfähigkeit auch beeinträchtigen. Dementsprechend werden bei Lauf- und Radwettkämpfen *Kältewesten*, die entweder mit Eis gefüllt sind oder beispielsweise über eine Durchlaufkühlung verfügen, ebenfalls mit Erfolg angewendet und bieten darüber hinaus die Möglichkeit, dass sich der Athlet schon während der Kühlung auf den Wettkampf vorbereiten kann. In Abhängigkeit von den bereits erwähnten Einflussgrößen haben Kühlwesten einen positiven Einfluss auf die Ausdauerfähigkeit, wenn sie für mindestens 10 bis hin zu 65 min getragen werden. Externe Kühlapplikationen sind somit eine Möglichkeit, um die limitierte Wärmespeicherkapazität des Körpers zu erhöhen und dadurch hitzebedingte Leistungseinbrüche zu verhindern [16][30][34].

### Reduktion der Körperkerntemperatur

Die Beeinflussung der Körperkerntemperatur mittels interner Kühlmethode ist in der Praxis nicht so einfach durchführbar. Zwar kann mit dieser Methode dem umliegenden Gewebe effektiv Wärme entzogen und die Ausdauerleistung gesteigert werden, jedoch geht sie mit einer beträchtlichen gastrointestinalen Belastung einher [30, 34]. Bezüglich des Zeitraumes empfiehlt sich, sowohl bei Eiseinnahmen (ca. 7–8 g/kg) wie auch bei der Einnahme von kaltem Wasser (ca. 1 l bei 4 °C), eine Konsumdauer von ungefähr 30 min zu wählen [30][34]. Ebenfalls konnten Kombinationsmethoden (externe und interne) einen positiven Beitrag zur Verbesserung der Ausdauerfähigkeit leisten.

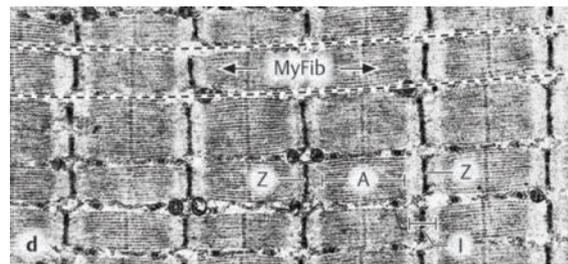
### Nachteile vorkühlender Maßnahmen

Obwohl die Vorkühlung im Bereich der Ausdauerfähigkeit einen signifikanten Vorteil bringt, können andere Bereiche wie z. B. Schnelligkeit, Explosivität und Maximalkraft darunter leiden. In der Tat sind in diesen Bereichen nur sehr geringe, keine oder sogar negative Effekte berichtet worden [16][30][31]. Diese nicht vorhandenen oder unerwünschten Effekte sind auf die reduzierte intramuskuläre Temperatur zurückzuführen. Die optimale intramuskuläre

Temperatur, um lang andauernde submaximale Ausdauerleistungen erbringen zu können, liegt zwischen 27 °C und 28 °C, während eine Senkung der Muskeltemperatur zur Reduktion von schnellen und kräftigen Muskelkontraktionen führt. Die verminderte Nervenleitgeschwindigkeit und verlangsamte ATP-Nutzung könnten potenzielle Mechanismen sein, welche diese Leistungsreduktionen erklären. Da jedoch dieses Thema den Rahmen dieses Artikels übersteigen würde, wird auf den Übersichtsartikel von Wakabayashi et al. (2015) verwiesen [32].

### Kryotherapie und Erholungsfähigkeit

Ein anderer Einsatzbereich der Kältetherapie beschäftigt sich mit der Verbesserung der Erholungsfähigkeit und steht somit in direktem Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit. Anders als unwillkürliche Verletzungen werden muskuläre Verletzungen im mikroskopischen Bereich durch gewollte intensive sowie ungewohnte Belastungen hervorgerufen. Im Volksmund sind sie als Muskelkater bekannt [1] (► **Abb. 3**).



► **Abb. 3** Histologischer Schnitt durch eine Myofibrille: Die Z-Linien sind als klare, dunkle Linien erkennbar. Diese sind bei einem Muskelkater ungleichmäßig gewellt, was auf eine Schädigung hindeutet. (Quelle: Lüllmann-Rauch R, Asan E. Skelettmuskelfaser. In: Lüllmann-Rauch R, Asan E, Hrsg. Taschenlehrbuch Histologie. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2019. doi:10.1055/b-006-163361)

Die Beschwerden eines Muskelkaters äußern sich in Form von verminderter Dehnbarkeit, Propriozeption, Kraft- und Leistungsentfaltung sowie Schwellung und erhöhter Schmerzempfindung. Außerdem gehen sie mit einem systemischen Efflux (Ausfluss) myozellulärer Enzyme und Proteine (z. B. Kreatinkinase) einher [28]. Vergleichbar mit den oben erwähnten Behandlungsstrategien ist bei nichttraumatisch induzierter ultrastruktureller Zerstörung der Myofibrillen das Ziel, die Symptome durch Reduktion des Zellmetabolismus zu minimieren, um somit die Erholungsfähigkeit zu optimieren. In der Praxis werden Methoden gewählt, mit welchen dem Körper möglichst viel Wärme entzogen werden kann und die relativ einfach in der Durchführung sind. Ziel von diesen großflächigen Methoden ist es, neben lokalen auch systemische antiinflammatorische Effekte hervorzurufen. Im Moment ist die populärste Methode, um die sportliche Erholung zu fördern, der Gebrauch von *Kaltwasserbädern*. Dabei befindet sich



► **Abb. 4** In einer offenen Kältekammer kann die Temperatur bis auf  $-195^{\circ}\text{C}$  abgesenkt werden. Der Aufenthalt darin darf nicht länger als 4 min dauern, weil sonst Erfrierungen drohen. (Quelle: merla/stock.adobe.com – Stock photo. Posed by a model)

der Körper bis zum Becken oder gar Hals im kalten Wasser [1]. In der Literatur wird beschrieben, dass die optimale Wassertemperatur zwischen  $10$  und  $13^{\circ}\text{C}$  liegen sollte bei einer durchschnittlichen Dauer von 13 min [1][17].

Eine weitere moderne Form der Kältetherapie nach sportlicher Betätigung ist der Gebrauch von *Kältekammern* oder *Kältekabinen* (► **Abb. 4**). Geschlossene Kältekammersysteme erzeugen sehr tiefe Temperaturen (bis zu  $-120^{\circ}\text{C}$ ) durch die Zirkulation von kalter Luft. Offene Kältekabinen erzeugen noch tiefere Temperaturen (bis zu  $-195^{\circ}\text{C}$ ) durch die Verdampfung von flüssigem Stickstoff. Diese zwei Formen werden üblicherweise nur für eine kurze Zeitdauer (ca. 4 min) angewendet, um Erfrierungen vorzubeugen.

Obwohl beide Methoden auf den Wärmeentzug abzielen, sollte berücksichtigt werden, dass die thermale Leitfähigkeit von Wasser mittels Konduktion um das 24-Fache höher ist im Vergleich zum Wärmeentzug mittels kalter Luft durch Konvektion [4]. Hinzu kommt, dass ein Kaltwasserbad normalerweise dreimal so lange dauert wie eine Behandlung in der Kältekammer/-kabine. Die Evidenzlage zur subjektiven und objektiven Wirksamkeit des Kaltwasserbades ist im Moment als moderat einzustufen. Da die Studien eine große Heterogenität in Bezug auf die Population (Geschlecht, Körperkonstitution und Trainingsstatus), sportliche Aktivität und Behandlungsparameter des Kaltwasserbades vorweisen, ist die externe Validität dieser Behandlungsmethode noch nicht gegeben. Die beste Evidenz für schnelle und lang andauernde Schmerzreduktion und körperliche Erholung (bis zu 96 Stunden nach der Aktivität) zeigt sich nach funktionellen, moderaten Belastungen, vorwiegend bei männlichen Athleten [1][17]. Interessant sind auch die Resultate, dass wiederholte Kältetherapie nach Ausdauertraining einen möglicherweise positiven Einfluss auf die mitochondriale Biogenese und somit aerobe Adaptation haben könnte [18].

Die Evidenzlage bezüglich des Einsatzes von Kältekammern/-kabinen ist im Vergleich zum Kaltwasserbad noch gering. Obwohl Schmerzreduktionen, Leistungssteigerungen und antiinflammatorische Effekte bereits nachgewiesen werden konnten, ist auch hier die Heterogenität das Hauptproblem, was eine generalisierte Empfehlung für diese Behandlungsmethode nicht zulässt [9][29].

### Negative Effekte globaler Kälteanwendungen

Neben den positiven Effekten gibt es auch Hinweise, dass die Kältebehandlung nach sportlicher Aktivität die Trainingsanpassungen negativ beeinflussen kann. So konnte festgestellt werden, dass Kältetherapie nach Krafttraining einen negativen Einfluss auf die Muskelproteinsynthese und somit Adaptation auf den Trainingsreiz haben kann [13][14]. In diesem Zusammenhang müssen sich die Sportler, Trainer und Therapeuten die Frage stellen, ob sie sich in einer Trainings- oder mehrtägigen Wettkampfsituation befinden und ob die Kältebehandlung in diesem Zusammenhang einen sinnvollen Beitrag liefern kann oder nicht.

Im Spitzensport entscheiden bekanntermaßen Hundertstelsekunden oder -millimeter über Sieg und Niederlage. Gerade darum ist es wichtig, sich vor Augen zu halten, dass auch nicht signifikante Gruppenunterschiede einer Studie eine hohe klinische Relevanz für den einzelnen Sportler haben können. Gerade oder besser gesagt vor allem, wenn er ein sogenannter „Strong Responder“ für die Kältetherapie ist.

### TAKE HOME MESSAGE

- Beim Einsatz von Kälte im Sport spielen das therapeutische Ziel, das Medium und die Dauer eine ebenso wesentliche Rolle wie die Körperkonstitution sowie die Zusammensetzung und Tiefe des Gewebes, das beeinflusst werden soll. Diese Faktoren müssen vor jeder Behandlung evaluiert werden, um eine zielgerichtete Behandlung zu gewährleisten.
- Im Bereich der Kältetherapie gibt es aufgrund dieser Faktoren keinen sogenannten „One size fits all“-Ansatz. Jede Behandlung muss individuell auf den Sportler oder Patienten abgestimmt sein.
- Es ist die Aufgabe des Sportphysiotherapeuten, eine genaue und vernünftige Abwägung zwischen den wissenschaftlichen Resultaten, der eigenen Expertise und der Einstellung des Sportlers zu einer bestimmten Kältetherapieform vorzunehmen.

## Autorinnen/Autoren



### Erich Hohenauer

Dr. Erich Hohenauer, PhD PT, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Südschweiz und Dozent an der THIM – die internationale Hochschule für Physiotherapie in Landquart. Dr. Hohenauer erforscht primär den physiologischen Effekt von Kälte und Höhe im Bereich der Rehabilitation und Sportwissenschaft.



### Ron Clijsen

Dr. Ron Clijsen, PhD PT, ist als Forschungsleiter und Dozent an der Fachhochschule Südschweiz und THIM – die internationale Hochschule für Physiotherapie in Landquart tätig. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der (Sport-)Physiotherapie und Rehabilitation.



### Peter Clarys

Prof. Dr. Peter Clarys, PhD, ist Fachgruppenleiter für Bewegungs- und Sportwissenschaften an der „Vrije Universiteit Brussel“, Belgien. Prof. Clarys beschäftigt sich primär mit dem Einfluss von körperlicher Aktivität und Ernährung auf die Gesundheit.

## Korrespondenzadresse

### Dr. Erich Hohenauer

Departement für Betriebsökonomie, Gesundheit und Soziale Arbeit  
Fachhochschule Südschweiz – 2rLab Landquart  
Weststrasse 8  
7302 Landquart  
Schweiz  
E-Mail: erich.hohenauer@supsi.ch

## Literatur

- [1] Bleakley C, McDonough S, Gardner E et al. Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. The Cochrane database of systematic reviews 2012; 2: CD008262. doi:10.1002/14651858.CD008262.pub2
- [2] Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: A systematic review of randomized controlled trials. The American Journal of Sports Medicine 2004; 32: 251–261
- [3] Bleakley CM, Davison G. Management of acute soft tissue injury using protection rest ice compression and elevation: Recommendations from the Association of Chartered Physiotherapists in Sports and Exercise Medicine (ACPSM): Executive Summary. Chartered Society of Physiotherapy; 2010
- [4] Bleakley CM, Bieuzen F, Davison GW et al. Whole-body cryotherapy: Empirical evidence and theoretical perspectives. Open Access Journal of Sports Medicine 2014; 5: 25–36
- [5] Bleakley CM, Davison GW. Cryotherapy and inflammation: Evidence beyond the cardinal signs. Physical Therapy Reviews 2010; 15: 430–435
- [6] Bleakley CM, Hopkins JT. Is it possible to achieve optimal levels of tissue cooling in cryotherapy? Physical Therapy Reviews 2010; 15: 344–350
- [7] Bongers CC, Thijssen DH, Veltmeijer MT et al. Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: A meta-analytical review. British Journal of Sports Medicine 2015; 49: 377–384
- [8] Cochrane DJ. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: A review. Physical Therapy in Sport 2004; 5: 26–32
- [9] Costello JT, Baker PR, Minett GM et al. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. The Cochrane Database of Systematic Reviews 2015; 9: CD010789. doi:10.1002/14651858.CD010789.pub2
- [10] Costello JT, Culligan K, Selve J et al. Muscle, skin and core temperature after –110 °C cold air and 8 °C water treatment. PloS one 2012; 7: e48190. doi:10.1371/journal.pone.0048190
- [11] Costello JT, Donnelly AE. Cryotherapy and joint position sense in healthy participants: A systematic review. Journal of Athletic Training 2010; 45: 306–316
- [12] El-Brawany MA, Nassiri DK, Terhaar G et al. Measurement of thermal and ultrasonic properties of some biological tissues. J Med Eng Technol 2009; 33: 249–256
- [13] Frohlich M, Faude O, Klein M et al. Strength training adaptations after cold water immersion. Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association 2014. doi:10.1519/JSC.0000000000000434. doi:10.1519/JSC.0000000000000434
- [14] Fuchs CJ, Kow IWK, Churchward-Venne TA et al. Post-exercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. The Journal of Physiology 2020; 598: 755–772
- [15] Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM et al. Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. Physical Therapy 2010; 90: 581–591
- [16] Hohenauer E, Stoop R, Clarys P et al. The effect of pre-exercise cooling on performance characteristics: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Clinical Medicine 2018; 09: 117–141
- [17] Hohenauer E, Taeymans J, Baeyens JP et al. The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: A systematic review and meta-analysis. PloS one 2015; 10: e0139028. doi:10.1371/journal.pone.0139028
- [18] Ihsan M, Markworth JF, Watson G et al. Regular postexercise cooling enhances mitochondrial biogenesis through AMPK and p38 MAPK in human skeletal muscle. American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2015; 309: R286–294
- [19] Järvinen TA, Järvinen TL, Kariainen M et al. Muscle injuries: Biology and treatment. The American Journal of Sports Medicine 2005; 33: 745–764
- [20] Jones PR, Barton C, Morrissey D et al. Pre-cooling for endurance exercise performance in the heat: A systematic review. BMC Medicine 2012; 10: 166
- [21] Kennet J, Hardaker N, Hobbs S et al. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. Journal of Athletic Training 2007; 42: 343–348
- [22] Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. 6. Aufl: Human Kinetics; 2015
- [23] Knight KL. Cryotherapy in sport injury management. Human Kinetics 1995

- [24] Lim C, Byrne C, Lee J. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singapore* 2008; 37: 347–353
- [25] Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *Journal of Athletic Training* 2003; 38: 28–33
- [26] Merrick MA, Knight KL, Ingersoll CD et al. The effects of ice and compression wraps on intramuscular temperatures at various depths. *Journal of Athletic Training* 1993; 28: 236–245
- [27] Myrer WJ, Myrer KA, Measom GJ et al. Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *Journal of Athletic Training* 2001; 36: 32–36
- [28] Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA et al. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology* 2017; 122: 559–570
- [29] Rose C, Edwards KM, Siegler J et al. Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: A review of the literature. *International Journal of Sports Medicine* 2017; 38: 1049–1060
- [30] Ross M, Abbiss C, Laursen P et al. Precooling methods and their effects on athletic performance: A systematic review and practical applications. *Sports Medicine* 2013; 43: 207–225
- [31] Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS. The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2015; 49: 7–13
- [32] Wakabayashi H, Oksa J, Tipton MJ. Exercise performance in acute and chronic cold exposure. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 2015; 4: 177–185
- [33] Wang L, Yin H, Di Y et al. Human local and total heat losses in different temperature. *Physiol Behav* 2016; 157: 270–276
- [34] Wegmann M, Faude O, Poppendieck W et al. Pre-cooling and sports performance: A meta-analytical review. *Sports Medicine* 2012; 42: 545–564

## Bibliografie

---

DOI <https://doi.org/10.1055/a-1247-9014>

*Sportphysio* 2020; 8: 237–244

© 2020. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,

70469 Stuttgart, Germany

ISSN 2196-5951