

# Über Irradiation und Hyperästhesie im Bereich der Hautsensibilität.

Von

Geh. Medizinalrat Prof. Dr. **Goldscheider.**

(Mit 2 Textfiguren.)

## I. Beschreibung des Phänomens.

Wenn man eine Hautfalte mit den Fingern so quetscht, dass ein Schmerz entsteht, und den Druck nunmehr konstant bleiben lässt, so tritt nach einiger Zeit eine Abnahme des Schmerzes ein, welche allmählich immer auffälliger wird. Nach einigen Minuten blasst der Schmerz vollständig bis zu einer Empfindung des Druckes ab; zuweilen bleibt bei der Druckempfindung ein ganz leichtes Wehgefühl bestehen. Beim Öffnen der Finger pflegt dann eine flüchtige Schmerzempfindung aufzutreten.

Besser bedient man sich einer kleinen Gefässklemme, wie man sie im Laboratorium bei Tieroperationen verwendet. Durch eine Schraubenvorrichtung, welche ich anbringen liess, kann die Druckwirkung der Klemme noch verstärkt werden (Fig. 1). Der Kneifschmerz wächst zunächst, nimmt dann nach einigen, etwa 2—5 Minuten und länger, ab und verschwindet nach weiteren 2—3 Minuten fast vollständig<sup>1)</sup>; es kann vorkommen, dass eine sehr leichte oszillierende Schmerzempfindung zurückbleibt, häufig aber blasst der Schmerz vollkommen ab. Es sind nicht alle Stellen der Haut in

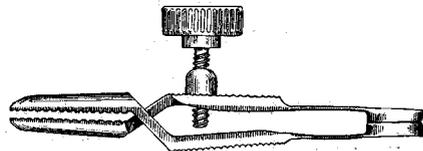


Fig. 1. Die Klemme ist zur Verdeutlichung leicht geöffnet gezeichnet. In Wirklichkeit ist sie im Ruhezustand geschlossen. Natürliche Grösse.

1) An manchen Hautstellen, zum Beispiel der straffen Haut des Handtellers, dauert der Schmerz viel länger, 15—20 Minuten hindurch, an.

gleichem Maasse geeignet; an manchen erzeugt die Klemme überhaupt keinen Schmerz<sup>1)</sup>.

Zuweilen tritt nach dem Anlegen der Klemme zunächst nur eine Druckempfindung auf, welche sich alsbald zum Schmerz entwickelt.

Ist der Zeitpunkt erreicht, in welchem der Schmerz ganz oder nahezu verschwunden ist, was je nach der Hautstelle sehr verschieden lange dauert, so erzeugt das Entfernen der Klemme einen schnell vorübergehenden, aber oft recht unangenehmen Schmerz.

Derselbe kann nicht etwa dadurch bedingt sein, dass die Haut beim Abnehmen der Klemme gezerzt wird. Die Konstruktion der Gefässklemme ist bekanntlich so, dass beim Druck auf die beiden Arme der Klemme die sich kreuzenden Enden sich voneinander entfernen, ohne dass irgendwelche Zerrung ausgeübt wird. Der Schmerz wird vielmehr lediglich dadurch bewirkt, dass die komprimierte Haut sich ausdehnt. Für die Richtigkeit der Deutung spricht, dass man den Schmerz durch allmähliches Lösen der Klemme verringern, ja bei sehr langsamem Vorgehen fast ganz vermeiden kann. Andererseits kann man den Schmerz von neuem anfachen, wenn man nach Lösung der Klemme die Haut an der betreffenden Stelle mit den Fingern auseinanderzieht.

Löst man die Klemme, ehe der Zeitpunkt der Schmerzlosigkeit erreicht ist, so kann dieser Vorgang zwar auch eine schmerzhaft empfindung erzeugen, aber von viel geringerer Intensität. Letzere zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Dauer des Klemmendrucks; kurz nach Anlegung der Klemme vollzieht sich die Abnahme derselben ohne jedes Auftreten einer Empfindung: der vorhandene Kneifschmerz verschwindet einfach. Hat die Klemme etwas länger gelegen, so entsteht bei der Lösung derselben eine leichte, noch nicht schmerzhaft empfindung des Gequetschtwerdens usw. Je längerer Zeit es bedurfte, den Kompressionsschmerz zum Verschwinden zu bringen, um so grösser ist der Schmerz bei der Entfernung der Klemme; er kann unter Umständen (zum Beispiel am Handteller) ausserordentlich stark sein.

Der Schmerz, welcher bei der Entfernung der Klemme auftritt, hat die grösste Ähnlichkeit mit dem beim Kneifen entstehenden, nur dass er mehr von innen heraus erfolgt, ähnlich wie ein neuralgischer Schmerz. Er steigt steil an und klingt schnell, aber immerhin nicht

1) Es handelt sich bei dem Ablassen und Verschwinden des Schmerzes um eine Anpassungserscheinung. Dieselbe hängt neben anderem von der Straffheit des Gewebes ab.

so plötzlich ab, als er entstanden war. Der Schmerz kann den durch die Kompression bedingten primären Schmerz in seiner Intensität übertreffen, was damit zusammenhängt, dass die gequetschte Stelle hyperalgetisch wird (s. unten). Zieht man nach Entfernung der Klemme die eingedrückte Stelle auseinander, so wird der Schmerz noch verstärkt bzw. neu erzeugt<sup>1)</sup>.

Die Hautklemme erzeugt ausser dem lokalen Schmerz noch eine sich auf einen mehr oder weniger grossen Bezirk ausbreitende Hyperalgesie.

Dieselbe beginnt einige Sekunden nach Anbringung der Klemme und wächst allmählich. Sie entwickelt sich um so schneller und wird um so stärker, je grösser der primäre, durch die Klemme hervor-

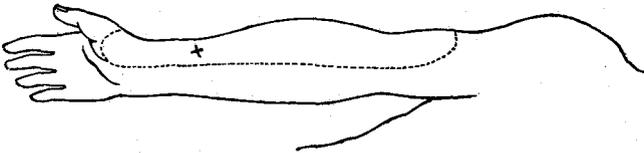


Fig. 2. + Klemme. Die punktierte Linie gibt den hyperalgetischen Bezirk an.

gerufene Schmerz ist. Sobald letzterer abnimmt, wird auch die Hyperalgesie schwächer, bis zum völligen Erlöschen. Wird die Klemme bei noch bestehendem Schmerz entfernt, so nimmt die Hyperalgesie akut ab, kann aber bis zum völligen Erlöschen noch einige Sekunden beanspruchen.

Wie die Hyperalgesie an Intensität zunimmt, so auch an Ausdehnung. Das betroffene Gebiet erstreckt sich vorzugsweise proximalwärts, viel weniger distalwärts von der Klemme und bildet einen Streifen, dessen Breite wie Länge von der Stärke des primären Schmerzes und der Zeitdauer seines Bestehens beeinflusst wird. Häufig nimmt das hyperalgetische Feld in proximaler Richtung an Breite zu. Die seitliche Ausdehnung ist meistens eine gleichmässige, aber auch Asymmetrien sind nicht selten, wie auch unregelmässige Formen der Begrenzung der Felder vorkommen. Die Klemme kann im hyperalgetischen Felde eine ganz exzentrische Lage einnehmen. Die Grenzen der hyperalgetischen Felder sind unscharf, da die Überempfindlichkeit allmählich abnimmt, und

1) Vgl. bezüglich der vorstehenden Beschreibung meine Arbeit: „Über Schmerz und Schmerzbehandlung“ (Zeitschr. f. physik. u. diätet. Therapie Bd. 19. 1915), aus welcher dieselbe übernommen ist.

meist bogenförmig, nicht gezackt, hier und da geradlinig. Wenn auch die distale Verbreitung meist geringer ist als die proximale, so kommt doch an manchen Körperstellen auch eine recht ausgesprochene distale Hyperalgesie vor.

Die Hyperalgesie äussert sich darin, dass Berührungen und Streichen der Haut zum Beispiel mit einem senkrecht aufgesetzten Haarpinsel ein schmerzhaftes Gefühl des Wundseins, leichte Nadelstiche eine sich ausbreitende schmerzhaft empfindung, gleichfalls dem Wundsein ähnlich, erzeugen. Leichte spitze Berührung zum Beispiel mit einer Bleistiftspitze wird schmerzhaft empfunden, an manchen Punkten mehr, an manchen weniger. Zusammendrücken einer Hautfalte erzeugt ein schmerzhaftes Brennen. Druck auf die Muskeln und Knochen erscheint schmerzhaft. Ja, die tiefe Sensibilität ist ganz besonders beteiligt (s. unten). Bei starker Ausprägung der Hyperalgesie können selbst leichte Berührungen eine stechende Empfindung hervorrufen.

Der schmerzhaft Eindruck bei diesen Reizen ist nicht etwa darauf zu beziehen, dass die eingeklemmte Hautpartie durch Fortleitung gezerzt oder bewegt werde (s. S. 11), oder dass die Berührungsempfindung sich einfach mit dem primären Schmerz mischt.

Auch mittels der Kathode des konstanten Stroms kann man einen lokalen Schmerz mit einem hyperalgetischen Felde hervorrufen. Die Hyperalgesie überdauert ein wenig den elektrischen Kontakt. — Die folgenden Erörterungen beziehen sich ausschliesslich auf die durch die Klemme ausgelöste Hyperalgesie.

Pathologisch bedingte Schmerzen erzeugen in derselben Weise wie der Klemmschmerz während ihrer Dauer eine verbreitete Hyperalgesie. Ich erzeugte an meinem Unterarm durch momentane Berührung mit stark erhitztem Metall einen Verbrennungsschmerz, welcher nicht bloss lokal lange nachdauernd empfunden wurde, sondern auch sofort ein weitreichendes, ebenso lange andauerndes proximales (und in geringerem Maasse ein distales) hyperalgetisches Feld erzeugte.

Der Klemmversuch lässt die enge funktionelle Zusammengehörigkeit der Haut- und Tiefensensibilität erkennen. Der durch die Klemme erzeugte Schmerz ist ein Hautschmerz, nicht etwa ein vom subkutanen Gewebe abzuleitender Schmerz. Wenn man die Haut mittels der Klemme so vorsichtig fasst, dass die Abhebung derselben vom tieferen Gewebe minimal ist, wobei eine nennenswerte Reizung der Subcutis nicht zustande kommen kann, so tritt die Hyperalgesie und Irradiation im Gebiete der Tiefensensibilität trotzdem auf.

## II. Natur der hyperalgetischen Bezirke.

Der Umstand, dass die hyperalgetischen Bezirke sich nicht rund um die Klemme als Mittelpunkt anordnen, sondern an den Extremitäten längsgestellt sind und proximal sich weiter ausdehnen als distal, lässt an Beziehungen zur Innervation denken. In demselben Sinne spricht die Gestalt und Orientierung der Bezirke am Rumpf. An der Brusthaut entstehen quergestellte, am Bauch schräg gegen die Mittellinie hin abwärtsziehende, in beiden Fällen parallelstreifig begrenzte hyperalgetische Felder. Ferner hält sich die Hyperalgesie an gewisse feste Grenzen der Innervationsgebiete: So wird bei Anbringung der Klemme am Oberschenkel die Inguinalfalte kaum überschritten. An der Brust und dem Bauch schneiden die hyperalgetischen Bezirke an der Mittellinie ab, welche sie nur um wenige Millimeter überragen. Die von verschiedenen Stellen aus erzeugten hyperalgetischen Felder setzen sich zum Teil voneinander ab, zum Teil überlagern sie sich um kleinere oder grössere Strecken.

Handelt es sich nun um peripherische oder spinale Territorien? Um diese Frage zu entscheiden, muss man möglichst starke Schmerzreize anwenden; denn es wurde bereits gesagt, dass die Ausdehnung des hyperalgetischen Feldes mit der Intensität des Reizes wächst. Man erhält daher bei Reizen von ungenügender Stärke unvollständige Felder. Vielfältige mit starken Quetschreizen angestellte Versuche haben mir nun ergeben, dass die hyperalgetischen Gebiete genau den spinalen (radikulären) Innervationsbezirken entsprechen. Man bedient sich am besten der Prüfung der Tiefensensibilität, indem man mit einem Stück Kork oder einem Holzstäbchen mit abgerundetem Ende einen mässigen Druck ausübt. Die Untersuchung der Hauthyperalgesie lässt den vollen Umfang des Gebietes nicht sicher erkennen. Die hyperalgetischen Felder stellen sich als streifige Gebilde von grosser Länge dar, zum Beispiel bei Anheftung der Klemme an der Schwimmhaut zwischen den Fingern bis zum Oberarm reichend. Die Axiallinien der Extremitäten kommen als Grenzen gut heraus. In der Höhe der Klemme zeigt der hyperalgetische Bezirk eine leichte Ausbuchtung in querer Richtung; im übrigen ist er ziemlich geradlinig begrenzt. Eine gewisse Überlagerung der Gebiete, wie es von den spinalen Bezirken bekannt ist, ist häufig festzustellen (s. oben); manche Grenzen aber erweisen sich als scharf und konstant.

Am Rumpf ist die Begrenzung der hyperalgetischen Felder der Brust- und Bauchhaut durch die Mittellinie ganz frappant. Man

mag die Klemme noch so nahe an die Mittellinie legen, so findet man die letztere doch nur um Millimeter überschritten, während sich nach hinten die Hyperalgesie weithin erstreckt. Die Gebiete der Nervi cutanei anteriores und laterales prägen sich nicht als voneinander geschieden aus. Klemmen, welche im Bereich der laterales gesetzt werden, erzeugen Hyperalgesie bis fast zur vorderen Mittellinie, solche in der Nähe der letzteren bis weit in das Gebiet der Nervi laterales. An der Brust kann das hyperalgetische Feld eine Breite von drei Interkostalräumen besitzen. Am Bauch verlaufen sie, wie bereits erwähnt, schräg nach vorn und unten, an der Brust ist gleichfalls eine, aber viel geringere Neigung vorhanden. Stets sind die Felder an Brust und Bauch parallelstreifig begrenzt. Zur Technik möchte ich bemerken, dass an der Bauchhaut wegen ihrer physiologisch geringeren Schmerzhaftigkeit und ihrer Schlaffheit der Nachweis der Hyperalgesie schwieriger ist. Die letztere ist, wie an den Extremitäten proximal, d. h. nach hinten stärker entwickelt als distal, was aber wegen der vorn strafferen Haut nicht leicht zu erkennen ist. Wenn man durch gereckte Haltung oder Pressen die Haut stärker spannen lässt, so wird die Untersuchung erleichtert. Die Inguinalfalte bildet, wie erwähnt, eine scharfe Grenze, welche von oben oder unten her in manchen Versuchen gar nicht, in anderen nur wenig (medialwärts) überlagert wird. Klemmen dicht oberhalb derselben erzeugen sofort ein schräg von unten innen nach oben aussen verlaufendes parallelstreifig begrenztes Feld. Nähere Angaben über die Topographie der hyperalgetischen Felder werden an anderer Stelle gebracht werden.

Dass der Sitz der Irradiation und Hyperalgesie nicht in der Peripherie, sondern in zentralen Leitungsbahnen gesucht werden muss, geht aus folgenden Momenten hervor:

1. Die Bezirke entsprechen den spinalen mehr als den peripherischen.

2. Es ist nicht anzunehmen, dass so zahlreiche peripherische Anastomosen existieren, wie sie angenommen werden müssten, um die grosse Ausdehnung der Felder zu erklären.

3. Die der Tiefensensibilität dienenden Leitungswege verlaufen, wie man jetzt annimmt, in der Peripherie zum Teil getrennt von denjenigen der kutanen Sensibilität. Wenn der Hautreiz eine Hyperalgesie im Bereiche der Tiefensensibilität erzeugt, so kann dies also nur durch Vermittlung des Hinterhorns geschehen.

### III. Erregbarkeitsverhältnisse im hyperalgetischen Felde.

Die Hyperalgesie durchläuft eine zeitliche Kurve, derart, dass sie schnell ansteigt, sich einige Zeit auf der Höhe hält und dann allmählich absinkt, entsprechend dem primären Schmerz an der von der Klemme gefassten Stelle. Zuweilen schliesst sich an das erste Ansteigen des Schmerzes eine weitere allmähliche Steigerung desselben an, welcher die Hyperalgesie parallel geht. Da nicht bloss die Intensität der letzteren, sondern auch ihre Ausbreitung von der Stärke des primären Schmerzes abhängt, so kommt es vor, dass während der Sensibilitätsprüfung die Hyperalgesie an Intensität und Ausdehnung zunimmt, um weiterhin wieder abzunehmen.

Die Hyperalgesie ist proximal stärker ausgesprochen und weiter ausgedehnt als distal; in dem sich unmittelbar an die Klemme anschliessenden distalen Gebiet ist sie jedoch ebenso stark als in dem proximalen. Innerhalb des hyperalgetischen Feldes ist die Hyperalgesie nicht gleichmässig entwickelt; vielmehr ist sie in der unmittelbaren Umgebung der Klemme am stärksten; hier besteht eine Art von Kerngebiet der Hyperalgesie, von wo aus die letztere nun nach den Grenzen des Feldes hin allmählich abnimmt. Die Grenzen sind daher unscharf. Nach dem Entfernen der Klemme bildet sich die Hyperalgesie sofort zurück bis auf einen kleinen, an die Klemme proximal angrenzenden Bezirk, in welchem sie sich noch kurze Zeit erhält.

Die tiefe Sensibilität ist, wie schon bemerkt, in grösserer räumlicher Ausdehnung an der Hyperalgesie beteiligt als die oberflächliche. Schon gelinder Druck auf die Muskeln kann eine schmerzhaft empfindung hervorbringen; ebenso ist der Druck auf die Knochen schmerzhaft<sup>1)</sup>.

Schon normalerweise kann man sich leicht davon überzeugen, dass beim tiefen Eindruck mit der Fingerspitze einzelne Stellen sich in höherem Grade empfindlich zeigen als andere. Diese Stellen

---

1) Es handelt sich nicht etwa nur darum, dass der in die Tiefe gerichtete Druck durch seine grössere Stärke der Schmerzschwelle näher kommt. Die Tiefenschmerzhaftigkeit kann den an derselben Stelle durch Zusammenpressen einer Hautfalte hervorgerufenen Schmerz bedeutend übertreffen. Wenn man mit dem Finger so über die tieferen Gebilde gleitet, dass man die Haut mit dem Finger verschiebt, so vermag schon gelinder Druck deutlichen Tiefenschmerz an besonderen Stellen zu erzeugen.

sind beständig. Sie entsprechen ohne Zweifel Nervenästen und den Nerveneintrittsstellen in die Muskeln (zusammenfallend mit den elektromotorischen Muskelpunkten). Sie finden sich nicht bloss an den Weichteilen, sondern auch an den Knochenflächen und -rändern. Wenn man in einem Gebiete Hyperalgesie erzeugt hat, so finden sich auch diese Stellen von besonders gesteigerter Empfindlichkeit. Tiefendruck ist hier vorzugsweise schmerzhaft. Diese Schmerzdruckstellen prägen sich in der unmittelbaren Empfindung nicht aus, man kann sie nur dadurch feststellen, dass man sie sucht. Sie fanden sich bei der Anbringung der Klemme am Handgelenk oder an der Schwimmhaut zwischen den Fingern bis zum Ellbogen hinauf und höher. Auch grössere Nervenstämmen können druckschmerzhaft werden, zum Beispiel der Medianus am Handgelenk bei der Befestigung der Klemme am Handteller. Die Verbreitung der Schmerzdruckstellen wächst gleichfalls mit der Intensität des primären Schmerzes und mit seiner Dauer. Es ist daher recht wohl denkbar, dass ein starker und anhaltender Schmerz, welcher durch innere Ursachen bedingt ist (Neuralgie usw.), ganz entfernte Schmerzdruckpunkte erzeugt, was klinisch von Interesse ist.

Diese Stellen gesteigerter Tiefensensibilität reichen, wie die gesamte Hyperalgesie der letzteren, weiter als die Hauthyperalgesie.

Anhaltender geringer Druck im hyperalgetischen Gebiet kann zu einer wachsenden Schmerzempfindung führen (Summationsphänomen). Hierher gehört auch eine gleichfalls häufig zu machende Beobachtung: dass nämlich ein taktile Reiz ausser dem schmerzhaften oberflächlich und scharf umschrieben empfundenen Schmerz noch eine tiefer gelegene, breitere, diffundierende und zugleich nachdauernde Schmerzempfindung erzeugt.

Durch die Hauthyperalgesie können Hautstellen, welche physiologisch wenig sensibel sind, wie zum Beispiel die den inneren Knöchel des Fussgelenks bedeckende Haut, eine hohe Empfindlichkeit erlangen.

Wenn man Druckpunkte und sogenannte Schmerzpunkte auf der Haut aufsucht und bezeichnet und nun die Klemme so anlegt, dass dieselben in das hyperalgetische Feld zu liegen kommen, so kann man folgendes feststellen: bei senkrechtem leichten Eindruck einer feingespitzten Nadel reagieren die Punkte sofort mit Schmerz, und zwar die Druckpunkte mit der körnig quetschenden Schmerzempfindung, welche ihnen sonst bei stärkerer Reizung eigen ist; die

Schmerzpunkte mit fein stechendem Schmerz. Bei steigender oder von Anfang an sehr starker Hyperalgesie wird auch die Zwischenhaut schmerzhaft, so dass fast jeder Punkt derselben eine Schmerzempfindung ergibt. Immerhin mit gewissen Unterschieden derart, dass an manchen Punkten mehr, an anderen weniger Schmerz auftritt. Einzelne analgetische Punkte sind auch hierbei vorhanden. Für die Lehre von den spezifischen Schmerznerven ist diese Beobachtung nicht sehr günstig (vergleiche jedoch die Anmerkung Abschnitt V).

Die gesteigerte Empfindlichkeit äussert sich nicht bloss in einer Hyperalgesie, sondern auch in einer wirklichen Hyperästhesie. Leichteste Berührungen mit einem gespitzten Hölzchen oder Haarpinsel erzeugen eine erhöhte und verschärfte Druckempfindung mit auffälliger Nachdauer (ein „Summen“), auch ein langdauerndes Kriebeln oder Prickeln. Leichteste Berührungen mit einer Nadel erscheinen feiner, spitziger, ohne deshalb schon schmerzhaft zu sein. Bei geringer Verstärkung der Reize tritt dann gewöhnlich Schmerz auf, es kommt aber auch vor (besonders im Randgebiet des Feldes), dass Hyperästhesie ohne ausgesprochene Hyperalgesie besteht. Das hyperalgetische Feld prägt sich in dem spontanen subjektiven Empfinden in der Regel relativ wenig aus. Erst bei der objektiven Sensibilitätsprüfung wird die Hyperalgesie in ihrer ganzen Ausdehnung bemerkt. Dadurch erklärt es sich, dass bei schmerzhaften Zuständen entfernte Schmerzdruckpunkte vorhanden sein können, ohne dass der Leidende unmittelbar etwas davon empfindet.

Ausser der Hyperalgesie tritt auch Hypästhesie auf. Dieselbe ist um so stärker, je grösser der primäre Klemmschmerz ist, wächst also mit der Hyperalgesie. Sie findet sich über das ganze hyperalgetische Feld verbreitet, ist distal meist stärker ausgesprochen als proximal und am meisten in dem unmittelbar distal von der Klemme belegenen Bezirk entwickelt. Es kommt aber auch vor, dass die Hypästhesie proximal mehr hervortritt als distal, oder dass sie beiderseits in gleicher Stärke besteht. Nach der Entfernung der Klemme bleibt die Hypästhesie im Gegensatz zur Hyperalgesie noch einige Zeit bestehen und bildet sich nur allmählich zurück; dies betrifft wieder vorwiegend den distalen Abschnitt und am meisten den unmittelbar an die Klemme angrenzenden Teil desselben. Die Hypästhesie ist an manchen Körperteilen mehr, an anderen weniger ausgesprochen (so erscheint sie zum Beispiel an der

Brust und der vorderen Oberschenkelfläche weniger auffällig), aber sie fehlt nie.

Die Hypästhesie betrifft sowohl die taktile wie die Temperaturempfindlichkeit (s. unten). Leiseste Berührungen werden nicht empfunden, die spezifische Druckempfindung ist abgestumpft; der senkrecht aufgesetzte Pinsel erscheint glatt, die Kitzelempfindung bei leichten Berührungen<sup>\*</sup> fehlt. Schon bei geringer Steigerung des Reizes tritt Schmerz auf (sogenannte relative Hyperästhesie). Während normalerweise das Aufsetzen einer Nadelspitze eine spitzige Tastempfindung und sodann einen Schmerz hervorruft, tritt hier die erstere zurück, erscheint breiter und stumpfer oder fehlt ganz, bei zugleich erhöhter Schmerzempfindung.

Von besonderem Interesse ist es, dass die Hypästhesie das hyperalgetische Hautgebiet meist ein wenig überragt (nicht aber das Gebiet der hyperalgetischen Tiefensensibilität), so dass dasselbe von einem hypästhetischen Rande umgeben ist. Der Rand wird am besten mittels feiner Pinselstriche nachgewiesen. Er kann schmaler oder breiter sein, auch ganz fehlen; es kommt übrigens auch das Umgekehrte vor, dass die Hauthyperalgesie weiter reicht als die Hypästhesie. Am proximalen Ende ist der hypästhetische Rand zwar sicher, aber doch weniger deutlich nachzuweisen als an den Seitenteilen und dem distalen Ende. An letzterem überragt die Hypästhesie den hyperalgetischen Bezirk oft bedeutend.

Die Feststellung der Hypästhesie kann sehr schwierig sein, weil sich die Erregbarkeitsverhältnisse oft schnell verändern. Ein Randstück, welches soeben noch hypästhetisch erschien, kann schon bei der nächsten Berührung hyperästhetisch sein.

Die distale Hypästhesie beruht nicht etwa auf einer Kompression sensibler Nervenzweige, denn sie hält durchaus die Grenzen der Innervationsbezirke ein, deren Verbreitung die hyperalgetischen Felder folgen.

Es entsteht leicht der Eindruck, dass die Hypästhesie nach der Abnahme der Klemme stärker werde als vorher, aber die genauere Untersuchung zeigt, dass dieser Anschein nur dadurch bedingt ist, dass der Schmerz und die Hyperalgesie die Feststellung der Hypästhesie erschwerte; in Wirklichkeit bleibt nach der Entfernung der Klemme die Hypästhesie übrig, während die Hyperalgesie verschwindet. Eine Ausbreitung der Hypästhesie auf benachbarte Innervationsbezirke

wurde nie bemerkt, jedoch kommt zuweilen eine sich in die Nachbarschaft verbreitende subjektive Vertaubungsempfindung vor.

Wendet man eine Klemme von schwachem Federdruck an, welche nur einen Druck, aber keinen Schmerz erzeugt, so ist keine Hyperalgesie, wohl aber eine sehr geringe Hypästhesie für taktile Reize in einem kleinen distalen Bezirk nachzuweisen. Ein schnell vorübergehender Schmerzreiz erzeugt gleichfalls Hypästhesie.

Die Hyperalgesie ist auch mittels des konstanten und unterbrochenen Stromes nachzuweisen. Sowohl die Kathode wie die Anode erzeugen bei Stromstärken, welche sonst unterhalb der Schmerzschwelle liegen, einen brennenden Schmerz, und zwar sowohl bei Schliessungen wie bei Dauerkontakt<sup>1)</sup>. Bei letzterem tritt die Steigerung der Schmerzempfindlichkeit besonders deutlich hervor. Am besten bedient man sich zweier knopfförmiger Elektroden, welche man dicht nebeneinander aufsetzt, um ausgedehnte Stromschleifen zu vermeiden. Letzere wirken besonders beim unterbrochenen Strom störend und erzeugen zugleich Hemmungswirkungen (s. unten). Bei dieser Anordnung löst der unterbrochene Strom eine doppelte Schmerzempfindung aus: zunächst ist das Prickeln von erhöhter Schmerzhaftigkeit (während es zugleich zuweilen weniger scharf erscheint, analog der taktilen, relativen Hyperästhesie), und ferner tritt häufig ein tiefer liegender, diffuser, ziehend-kneifender Schmerz auf, welcher nach Absetzung der elektrischen Reizung nachdauern kann. Derselbe ist als ein Summationsschmerz, analog der von Gad und mir seinerzeit beschriebenen sekundären Schmerzempfindung, anzusehen. Er ist deutlich von dem primären Schmerz zu unterscheiden. Am auffälligsten treten diese Erscheinungen im hyperalgetischen Kerngebiet hervor. Dass einzelne Schliessungs- und Öffnungsregungen den Schmerz nicht so deutlich erzeugen, dürfte mit der momentanen Dauer der Reizung zusammenhängen.

Auch die Hypästhesie ist durch elektrische Reizung in der Umgebung der Klemme nachzuweisen. Die Kombination derselben mit der Hyperalgesie entspricht dem klinisch als relative Hyperästhesie bezeichneten Erregbarkeitszustande (s. oben).

Auf einen bemerkenswerten Einfluss der elektrischen Reizung auf den primären Klemmschmerz wird unten einzugehen sein.

1) Hierdurch wird auch bewiesen, dass die Schmerzhaftigkeit taktiler Reize nicht etwa darauf beruht, dass durch den mechanischen Eindruck Zerrungen an der geklemmten Stelle ausgelöst werden (s. S. 4).

**Temperaturempfindung.** Im hyperalgetischen Felde zeigt auch die Temperaturempfindlichkeit gewisse Beeinflussungen. Die auffälligste Erscheinung besteht darin, dass Kältereize Schmerz hervorrufen, am deutlichsten im hyperalgetischen Kerngebiet. Nicht bloss mit kalten Flächenreizen, sondern auch mittels punktförmiger Reizung einzelner Kältepunkte lässt sich diese Erscheinung feststellen. Die Kälteempfindung als solche kann dabei abgeschwächt sein, ist aber von einer Schmerzempfindung begleitet, welche nicht selten eine auffällige Nachdauer erkennen lässt. Es ist dies nicht bei allen Kältepunkten in gleichem Maasse der Fall; am ausgesprochensten bei solchen, welche Druckpunkten unmittelbar benachbart sind. Wenn die abgerundete Metallspitze, welche zur Reizung benutzt wird, so weit erwärmt wird, dass sie einen für die Temperaturnerven indifferenten Reiz darstellt, so entsteht bei leichter Berührung der Kältepunkte kein Schmerz. Über die Erklärung dieser Erscheinung vgl. das unten Gesagte.

Ausserdem entsteht sehr häufig der Eindruck, dass die Kälteempfindung selbst erhöht sei. Zunächst ist hier aufzuführen, dass zuweilen eine subjektive ausgebreitete kühle Empfindung schnell vorübergehend wie ein Kältehauch auftritt. Regelmässiger wird beobachtet, dass Kältereize eine auffallend starke Kälteempfindung mit lange anhaltender Nachempfindung erzeugen, sowohl bei flächenhafter wie bei punktförmiger Reizung. Die sonst nach mehrfacher Reizung eintretende Abschwächung der Kälteempfindung scheint zu fehlen. Dieser Zustand ist von kurzer, etwa 2—3 Minuten betragender Dauer und wird nur bei starker Hyperalgesie beobachtet. Oft erscheint die Empfindung eisig bzw. eisig-brennend; Übergänge zur schmerzhaft-stechenden Empfindung kommen vor. Es ist sehr schwierig, darüber ins klare zu kommen, ob es sich um eine wirkliche Steigerung der Kälteempfindung oder nicht vielmehr um eine Miterregung sensibler Hautnerven (leichte Druck-, Spannungs- und Schmerzempfindungen) handelt. Die Schwierigkeit wird dadurch erhöht, dass der Klemmschmerz die Beobachtung stört. Man muss sich erst daran gewöhnen, während des Bestehens des letzteren derartige Sinnesbeobachtungen zu machen. Wahrscheinlich ist die „eisige“ Empfindung überhaupt keine reine Temperaturempfindung, sondern eine mit sensiblen Erregungen gemischte. Hierfür spricht, dass starke Kälteempfindungen überhaupt von einer schneidenden Empfindung begleitet sind und eine Nachempfindung hinterlassen,

welche derjenigen ähnlich ist, die von einer Druckempfindung zurückbleibt. Ferner die Beobachtung, dass die eisige Empfindung gelegentlich auch dort wahrgenommen wurde, wo die Kälteempfindlichkeit in Wirklichkeit herabgesetzt war.

Die anscheinend gesteigerte Kälteempfindlichkeit wechselt zeitlich mit Herabsetzung derselben. Es kann unmittelbar nach dem Anlegen der Klemme Kältehyperästhesie auftreten, welche abklingt und einer Kältehypästhesie Platz macht. Auch kann dicht bei der Klemme Hyper-, in einiger Entfernung Hypästhesie bestehen. Auch das Umgekehrte wird beobachtet: dass das Anlegen der Klemme zunächst von einer Hypästhesie gefolgt wird, welche dann vorübergehend in Hyperästhesie übergeht. Im kältehypästhetischen Gebiet kann endlich eine flüchtige Hyperästhesie wieder aufflackern. Die genauere Prüfung mittels exakt temperierter punktförmiger Reizungen der Kältepunkte ergab nun regelmässig auch bei anscheinend gesteigerter Empfindlichkeit eine Hypästhesie. Ich bediente mich eines an einem Stiel befestigten, dicken, soliden Kupferzylinders, welcher nach unten eine in eine Spitze auslaufende kegelförmige Verjüngung besitzt. In dem Metallzylinder befindet sich eine bis in die Nähe der Spitze gehende Bohrung, in welche ein Thermometer eingelassen werden kann. Es wurde sowohl eine Verschiebung der Reizschwelle wie eine Herabsetzung der Empfindung bei gleichbleibender Reizung festgestellt. Zum Beispiel: An der Beugefläche des Unterarms werden Kältepunkte bestimmt. Schwelle  $29,5^{\circ}$  C.  $29^{\circ}$  C. erzeugen eine deutlich kühle,  $28,5^{\circ}$  C. eine kalte Empfindung. Die Klemme wird so angelegt, dass die Kältepunkte in das proximale hyperalgetische Kerngebiet zu liegen kommen. Die nunmehrige Prüfung ergibt, dass sich die Schwelle bei  $28,5^{\circ}$  C. befindet.  $27,75^{\circ}$  C. erzeugen eine kalte Empfindung wie sonst  $28,5^{\circ}$  C. Eine Abnahme der Hauttemperatur war nicht erfolgt.

Die Kältehypästhesie beruht nicht etwa auf einer Überlagerung der Empfindung durch Klemmschmerz, denn seitlich von der Klemme in geringer Entfernung von derselben wird Kälte ebenso deutlich als vor Anlegung der Klemme empfunden. Die Kältehypästhesie schwankt; es kommt vor, dass sie sich nach Anlegung der Klemme sehr schnell entwickelt und dann, obwohl dieselbe liegen bleibt, etwas nachlässt. Sie ist distal wie proximal vorhanden.

Es erscheint mir hiernach zweifelhaft, ob es sich bei den vorher mitgeteilten Beobachtungen um eine wirkliche Hyperästhesie

der Kälteempfindung handelt. Undenkbar wäre dies immerhin nicht, da ja auch Hyperästhesie der Drucknerven neben der Hyperalgesie beobachtet worden ist (s. oben). Nach der Entfernung der Klemme besteht durchweg Kältehypästhesie, welche sich allmählich verliert.

Ganz ähnlich verhält sich die Wärmeempfindung. Auch bei Wärmereizen kann im hyperalgetischen Gebiet der Eindruck einer erhöhten Wärmeempfindung entstehen. Die Beobachtungen fallen sehr verschieden aus. Zuweilen fehlt dieser Eindruck vollständig, zuweilen ist er vorhanden; es scheint dann, dass sogar schwache Wärmereize eine wirkliche Wärmeempfindung, nicht eine brennende oder heisse Empfindung hervorrufen; meistens freilich handelt es sich um brennend warme oder heisse Sensationen. Dass der brennende Charakter nichts mit der Wärmeempfindung als solcher zu tun hat, geht daraus hervor, dass auch die durch die eintretende Wärmehypästhesie abgeschwächten Wärmeempfindungen brennend sein können. Man kann im hyperalgetischen Felde den Übergang der warmen brennenden Empfindung in eine abgeschwächte Wärmeempfindung, welche aber von dem gleichen Brennen begleitet ist, bei Anwendung des gleichen Wärmereizes beobachten. Auch im Gebiet des Wärmesinns beobachten wir im hyperalgetischen Felde den Wechsel von scheinbarer Hyperästhesie mit Hypästhesie, auch das gleichzeitige Vorkommen eines scheinbar hyperästhetischen Bezirkes (in der Umgebung der Klemme) innerhalb eines grösseren hypästhetischen. Die brennende heisse Empfindung ist zuweilen geradezu überraschend: selbst ein minimaler Reiz kann dann eine Empfindung wie von heissem Wasser hervorrufen. Diese Zustände von gesteigerter Empfindlichkeit sind vorübergehend.

Auch subjektive Wärmeempfindung kommt nach dem Anlegen der Klemme gelegentlich vor. Die Prüfung mit dem adäquaten Reiz schien bei diesem schnell vorübergehenden Zustand eine erhöhte reine Wärmeempfindung ohne Brennen zu ergeben. Einmal gelang es, diese subjektive Empfindung an einer Stelle (Kleinfingerballen) zu erzeugen, an welcher vorher festgestellt worden war, dass ein Reiz von 33° C. eine nur eben merkliche lauliche Empfindung erzeugte. Jetzt wurde derselbe Reiz deutlich warm empfunden, während er geraume Zeit nach dem Versuch wieder dieselbe lauliche Empfindung hervorrief wie vorher. Freilich kann es sich hier um eine Vermischung mit der subjektiven Wärmeempfindung gehandelt haben.

Auch Versuche folgender Art wurden ausgeführt: Im hyper-

algetischen Felde wurde eine Stelle gefunden (meist am Rande des hyperalgetischen Kerngebietes gelegen), wo die Reizung mit Schwellenreizen ( $33-32,5^{\circ}$  C.) eine auffällige lebhaftere Wärmeempfindung erzeugte; nunmehr wurde die Klemme entfernt, und jetzt trat bei gleichem Reiz nur eine lauliche Empfindung auf, welche nach erneutem Anlegen der Klemme sehr bald wieder an derselben Stelle einer stärkeren Wärmeempfindung Platz machte. Es ist erforderlich, dass für diese Versuche eine Stelle von sehr guter physiologischer Wärmeempfindlichkeit ausgesucht wird. Der Versuch gelang öfter, und zwar an verschiedenen Hautgebieten, jedoch das negative Ergebnis war häufiger als das positive.

Entsprechende Versuche wurden übrigens auch für den Kältesinn angestellt, welche gleichfalls nicht entscheidend und gleichmässig ausfielen.

Sollte eine wirkliche Wärmehyperästhesie vorkommen, so ist sie jedenfalls von äusserst flüchtiger Art. Die Versuche an einzelnen Wärmepunkten ergaben wie beim Kältesinn lediglich Hypästhesie. Die Hypästhesie ist um so stärker, je grösser der Klemmschmerz ist und bessert sich mit dem Nachlasse desselben ein wenig, um nach der Entfernung der Klemme noch eine Zeitlang nachzudauern. Sie ist distal wie proximal vorhanden, zuweilen scheint die distale zu überwiegen. Die Wärmehypästhesie ist nicht etwa eine scheinbare, dadurch bedingte, dass die Wärmeempfindung durch den Klemmschmerz überlagert wird, denn seitlich von der Klemme in der gleichen Entfernung ist trotz des Schmerzes unverminderte Wärmeempfindlichkeit vorhanden.

Sehr deutlich ist die Erhöhung des Wärmeschmerzes. Dieselbe lässt sich auch an einzelnen an Druckpunkte angrenzenden Wärmepunkten feststellen.

Die beschriebenen Erscheinungen der Wärmehyperästhesie sind in der Hauptsache auf sensible Erregungen (Wärmeschmerz) zurückzuführen: Brennen usw. Dieselben können auch bei verminderter Wärmeempfindung vorhanden sein. Schwache Wärmereize, welche bei der vorliegenden Wärmehypästhesie kaum Wärmeempfindung erzeugen, können trotzdem stechend-brennende Empfindungen auslösen.

Was die bekannte Frage betrifft, ob die Hitzeempfindung durch Miterregung von Kältenerven oder durch sensible Erregungen bedingt ist, so sprechen die Beobachtungen entschieden für letzteres. Denn eine Überempfindlichkeit der Kältenerven ist fraglich, jeden-

falls nicht regelmässig und nur ganz vorübergehend vorhanden. Hitzeempfindung kann sogar bei gleichzeitiger Wärmehypästhesie — bei welcher dann auch Kältehypästhesie besteht — vorhanden sein.

Die Hypästhesie des Temperatursinns ist von geringerer räumlicher Ausdehnung als die taktile.

Es wurde auch untersucht, ob unter dem Einfluss der Hyperalgesie die mechanische Erregbarkeit der Temperatursinnespunkte gesteigert ist; ferner ob die Erregung der Wärmepunkte durch Kältereize bzw. der Kältepunkte durch Wärmereize leichter zustande kommt. Beides ist nicht der Fall.

Nach der Entfernung der Klemme findet sich an den beiden eingedrückten Stellen noch für kurze Zeit eine Steigerung der Schmerzempfindlichkeit. Dabei ist die Empfindung für leichteste Berührungen und für Temperaturreize herabgesetzt, während etwas stärkere, aber immerhin noch leichte Berührungen eine prickelnde Empfindung hervorrufen. Hatte die Klemme lange Zeit gelegen, so kann auch die Druckempfindung ganz aufgehoben sein, bei erheblicher Steigerung der Schmerzempfindlichkeit.

Jucken. Einer besonderen Beachtung bedarf ein im hyperalgetischen Felde nicht selten auftretendes unangenehmes Jucken, welches sowohl unmittelbar wie besonders nach dem Berühren und Streichen der Haut auftritt und lange nachdauern kann. Am stärksten nehme ich das Jucken beim Klemmen der Fingerschwimmhaut wahr, und zwar besonders im Handteller, weniger stark an den Fingern selbst. Auch bei der Anbringung der Klemme am Handteller ist es sehr stark. Es ist ein schmerzliches Jucken, wie es auch bei Entzündung der Haut, besonders im Abheilungsstadium, auftritt. Recht deutlich findet sich das Jucken auch an der Unterleibshaut.

Das Jucken bildet sich zunächst und hauptsächlich proximal, wenn es auch distal nicht fehlt. Leises Streichen erzeugt dasselbe deutlicher als starkes. Auch Kältereize lassen das Jucken besonders in der Nachempfindung hervortreten. Nach dem Abnehmen der Klemme dauert das Jucken noch ein wenig nach. Am Handrücken ist das Jucken nicht in so auffälliger Weise zu erzielen als am Handteller.

Die Beziehungen des Juckens zur Hyperalgesie beweisen, dass dasselbe eine dem Schmerz verwandte Empfindung ist. Es tritt unter ähnlichen Bedingungen wie der Schmerz auf. Wahrscheinlich ist es wie dieser ein Summationsphänomen. Besonders auffällig ist,

dass am Handteller an der Stelle der Befestigung der Klemme, wenn der Kompressionschmerz nachlässt — was am Handteller sehr lange, 15—20 Minuten, dauern kann —, ein Jucken zurückbleibt. Wahrscheinlich, weil es durch den Schmerz, mit welchem es gleichzeitig entsteht, bis dahin überlagert wurde.

Eine Beziehung des Juckens zum Schmerz fand auch Thöle<sup>1)</sup>. Derselbe untersuchte, in welcher Zeitfolge und Ausbreitung bei Erzeugung von Rückenmarksanästhesie die verschiedenen Gefühlsqualitäten verschwanden bzw. zurückkehrten. Er ermittelte, dass nach Eintritt der Analgesie Schmerzreize Jucken erzeugen, und schliesst aus seinen mannigfachen Beobachtungen: Juckgefühl entsteht durch im Vergleich zum Schmerzgefühl geringere Reize normal reagierender Schmerzfasern oder durch gleich starke Reizung von vermindert erregbaren Schmerzfasern. Kitzelempfindung verhalte sich zum Tastsinn wie Juckempfindung zum Schmerzsinne.

Aus meinen Beobachtungen ergibt sich freilich, dass das Jucken bei gesteigerter Erregbarkeit auftritt. Wenn Thöle's Ansicht zutreffend wäre, so müsste ein unterschmerzlicher Reiz zunächst Jucken und bei weiterer Steigerung Schmerz erzeugen, bzw. es müsste bei Hypalgesie Jucken auftreten — während es sich in Wirklichkeit bei Hyperalgesie findet<sup>2)</sup>.

#### IV. Beeinflussung des Klemmschmerzes und der durch die Klemme erzeugten Hyperalgesie durch künstlich gesetzte Reize.

Der durch die Klemme erzeugte Schmerz kann durch Hautreize, welche in der Nähe der Klemme angebracht werden, beeinflusst werden. Leises Streichen über die Haut sowie Kitzeln verdunkelt den Schmerz etwas, solange das Streichen ausgeführt wird. Eine Nachwirkung besitzt dasselbe nicht. Von Interesse ist, dass die Wirkung um so mehr zurücktritt, je weiter entfernt von der Klemme das Streichen ausgeführt wird. Befindet sich die Klemme an der Beugeseite des Arms, so wirkt das Streichen an der Streckseite viel weniger als dasjenige an der Beugeseite usw. Streichen an der

1) Neurolog. Zentralbl. 1912 Nr. 31.

2) Die Erregbarkeitsverhältnisse im hyperalgetischen Felde haben eine gewisse entfernte Ähnlichkeit mit denjenigen, welche bei der Regeneration von Hautnerven gefunden worden sind; wenigstens finden sich einige gemeinschaftliche charakteristische Züge.

entsprechenden Stelle der kontralateralen Extremität hat keinen Einfluss.

Auch Kälte- und Wärmereize, in der Nähe der Klemme angebracht, können ganz vorübergehend die Schmerzempfindung und die Hyperalgesie mildern, besonders lokal wechselnde Berührungen mit kaltem Metall (über die erregenden Wirkungen vgl. oben) oder, in noch höherem Grade, die Applikation eines kalten Wasserstrahls oder einer von kaltem Wasser durchflossenen Metallkapsel proximal von der Klemme. Einen auffälligen Einfluss auf den Nachlass des Klemmschmerzes äussern elektrische Reizungen, auch dann, wenn dieselben noch nicht schmerzhaft sind. Beim Faradisieren wirkt nicht bloss die Stärke, sondern auch die Verbreitung, in welcher das Prickeln empfunden wird, ein. Auch der bei der Entfernung der Klemme auftretende Schmerz erscheint abgeschwächt, wenn gleichzeitig elektrische Reizungen stattfinden. Nach dem Absetzen der elektrischen Reizung tritt der Klemmschmerz sofort oder anschwellend wieder hervor.

Massage der Muskulatur im hyperalgetischen Gebiet verdunkelt gleichfalls, solange sie ausgeführt wird und mit geringer Nachdauer, den Schmerz. Auch das Kneten der oben erwähnten besonders schmerzhaften Druckstellen erzeugt nur eine ganz vorübergehende Beeinflussung des primären Schmerzes, welche um so geringfügiger ist, eine je grössere Intensität letzterer besitzt.

Wird die Klemme am Unterarm befestigt, so bewirkt kräftiges Zusammenballen der gleichseitigen Hand, offenbar mittels der entstehenden Druckempfindungen, eine Abschwächung der Schmerzempfindung, ohne merklichen nachdauernden Erfolg. Das Ballen der gegenseitigen Faust ist von einer gewissen, aber viel geringeren Wirkung.

Appliziert man nicht allzuweit von der Klemme eine zweite, welche grösseren Schmerz erzeugt, so wird die Schmerzempfindung an der ersten Klemme nahezu ausgelöscht. Bei grösserer Entfernung voneinander, zum Beispiel wenn die eine Klemme an der Beugefläche, die andere an der Streckfläche des Unterarms angebracht wird, ist die gegenseitige Beeinflussung viel geringer. Befestigt man die Klemme an symmetrischen Punkten beider Arme, so ist kaum eine Abschwächung der einen Empfindung durch die andere zu bemerken.

Wenn der durch eine Klemme erzeugte Schmerz durch eine zweite in der Nähe angebrachte überlagert worden ist, so tritt der-

selbe sofort wieder stärker hervor, sobald die zweite Klemme gelöst wird. Diese Erscheinung ist besonders auffallend und sehr leicht wahrzunehmen.

Diese gegenseitigen Beziehungen zweier Schmerzempfindungen sind von alters her bekannt und in dem Satz ausgedrückt worden: *Duobus doloribus simul obortis unus obscurat alterum*. Die Schmerztherapie durch Erzeugung von Gegenschmerzen macht hiervon Gebrauch.

Nicht bloss im Gebiete der Schmerzempfindung treffen wir diese Empfindungshemmung durch Reize; so werden Parästhesien, juckende Empfindungen usw. durch Reiben und Kratzen betäubt. Im hyperalgetischen Gebiet erzeugen Pinselstriche lebhaftes Prickeln. Nach kurzem scharfen Reiben der betreffenden Hautstelle wird diese hyperästhetische Empfindung sofort zum Verschwinden gebracht. Auch zwischen verschiedenartigen Sinnesorganen kommen ähnliche Beziehungen vor.

Bei dem Klemmversuch wirken Reizungen im hyperalgetischen Gebiet in höherem Grade verdunkelnd auf den Schmerz als solche ausserhalb desselben. Durch eine Art von Umkehrung des Versuchs kann man nachweisen, dass der proximal von der Schmerzquelle angebrachte Reiz diesen Einfluss allgemein mehr hervortreten lässt als der distale. Man macht eine natürliche Druckschmerzstelle (s. oben) durch starkes Kneten und Drücken schmerzhaft, so dass schon leichtester Druck eine schmerzliche Empfindung erzeugt. Wenn man jetzt ein oder zwei Hautklemmen nicht allzuweit entfernt proximal befestigt, so findet sich die Schmerzempfindlichkeit, solange der Klemmschmerz besteht, an der betreffenden Stelle wesentlich herabgesetzt. Schon Zusammenkneifen der Haut im proximalen Gebiet wirkt vorübergehend stark herabsetzend auf die Hyperalgesie. Distale Klemmen verdunkeln die Hyperalgesie zunächst gleichfalls, aber in erheblich geringerem Grade; weiterhin kann die Schmerzempfindlichkeit sogar gesteigert erscheinen, da die Stelle in den Bereich der von der Klemme ausgehenden Hyperalgesie gelangt. Bei der proximal angelegten Klemme dagegen befindet sie sich in dem hinter der Klemme sich entwickelnden hypästhetischen Gebiet.

Es kann sich hierbei nicht bloss um psychische Vorgänge derart handeln, dass das Bewusstsein mit einem neuen Empfindungsinhalt gefüllt werde, welcher die bestehende Empfindung verdränge oder von ihr ablenke. Dies geht zwingend daraus hervor, dass die nachbarschaftlichen Verhältnisse eine so grosse Rolle spielen.

Vielmehr liegen wirkliche Hemmungen innerhalb der Nervenleitung bzw. der sensiblen Zentren vor, wenn auch das psychische Moment nicht ganz in Abrede zu stellen ist. Es gehört dies in das Kapitel von der gegenseitigen Bahnung und Hemmung von Nerven-erregungen, wie wir sie auch gegenüber dem Ablauf von Reflexen und von motorischen Impulsen vorfinden. Eine in den Leitungsbahnen ablaufende Erregung bzw. ein dort befindlicher Erregungszustand kann durch anderweitige Reize verstärkt oder abgeschwächt werden. Eine schmerzhaftige Erregung kann durch nachbarschaftliche Reize der verschiedensten Art, starke wie schwache, auf dem Wege der Hemmung gemildert werden. Wahrscheinlich so, dass durch die Fortleitung der interkurrierenden Reize chemische Spannkkräfte innerhalb der Nervenbahnen verbraucht werden, welche der Leitung der ursprünglichen Erregung entzogen werden. Im übrigen ist das Problem der Hemmung noch zu wenig erforscht, um sich irgendwelche präziseren Vorstellungen über die dabei ablaufenden Vorgänge machen zu können.

Einen Einfluss der künstlichen Blutstauung auf den durch die Klemme erzeugten Schmerz habe ich nicht wahrnehmen können. Bei Entzündungen, Gelenkerkrankungen usw. ist die schmerzstillende Wirkung der Stauung, wie ich mich selbst oft überzeugt habe, sicher vorhanden. Dieselbe beruht daher wahrscheinlich auf einer genügenden Beeinflussung der krankhaften Schmerzursache, nämlich der Entzündung selbst, nicht auf einer solchen der Sensibilität an sich.

#### V. Irradiation der Kälte- und Wärmeempfindung.

Es liegt nahe, zu untersuchen, ob eine ähnliche Irradiation, wie sie für den lokalen, dauernd einwirkenden Schmerzreiz gefunden wurde, auch bei Temperaturreizen nachzuweisen ist,

Ein kalter bzw. warmer Metallblock<sup>1)</sup> wird einer Hautstelle angelegt. Die Reizungen werden mittels eines Zündhölzchens, dessen eines Ende mit Watte umwickelt ist, bzw. mittels des oben beschriebenen exakt zu temperierenden Kupferzylinders ausgeführt. Nach Anlegung des kalten Metallblocks an eine Extremität wird zuweilen eine Ausbreitung der Kälteempfindung wie ein kalter

---

1) Neuerdings bediente ich mich auch eines flachen gerundeten Kupferhohlgefäßes, welches von Wasser durchflossen wird.

Hauch beobachtet, sowohl in proximaler wie in distaler Richtung, jedoch in ersterer überwiegend; weniger nach den Seiten hin. Dies ist am deutlichsten, wenn zur Anlegung eine Stelle von physiologisch grosser Kälteempfindlichkeit gewählt wird. Nach der Entfernung ein Metallmasse kann eine minutenlang dauernde allmählich verblässende, kühle Nachempfindung beobachtet werden. Meist wurde der Metallblock von Lufttemperatur gewählt. Berührungen proximal und distal von dem Kälteblock rufen nun neben der Berührungsempfindung eine auffällige Kälteempfindung hervor. Der Bezirk, in welchem dies geschieht, zeigt bei den einzelnen Versuchen eine verschieden weite Ausdehnung. In manchen Fällen ist er auf die unmittelbare Umgebung beschränkt, in anderen breitet er sich während des Kontaktes der Metallmasse, und zwar proximal mehr als distal aus. Nach einiger Zeit blasst die Erscheinung ab und verschwindet, und zwar mit dem Nachlassen und Erlöschen der primären Kälteempfindung. Durch leichte Verschiebungen der Kältequelle, durch welche neue Kälteempfindungen erzeugt werden, kann dann die abgeblasste taktile Kälteempfindung neu angefacht werden. Die Erscheinung der Kältemitempfindung ist um so stärker ausgesprochen, je intensiver die primäre Kälteempfindung ist. Die Entfernung, in welcher die Erscheinung noch auftritt, kann eine Handbreite, von der Kältequelle an gerechnet, betragen.

Auch die Abkühlung einer Hautstelle durch den Chloräthylstrahl kann das Phänomen erzeugen, welches unmittelbar nach der Applikation des Chloräthyls vorhanden ist, aber schnell verschwindet.

Es ist nicht erforderlich, dass die Kältequelle einen grossen Umfang hat. Selbst bei Anwendung einer Metallkugel von 1 cm Durchmesser (Mandelquetscher) ist die Erscheinung nachzuweisen. Während der Untersuchung müssen durch weiche, warme Lagerung des zu prüfenden Gliedteiles störende Temperaturempfindungen ferngehalten werden. Die Untersuchung muss ferner in einem gutgewärmten Raum stattfinden. Handelt es sich um Hautgebiete, welche sonst bedeckt sind, so muss die Adaptierung nach der Entblössung abgewartet werden.

Die Berührung mit dem mit Watte umhüllten Hölzchen von Lufttemperatur ruft unter normalen Verhältnissen kaum eine Kälteempfindung hervor.

Auch wenn man den oben beschriebenen Metallzylinder auf den Indifferenzpunkt erwärmt und mit der Spitze oder einem kleinen

Stück der abgeschrägten Fläche Berührungen ausführt, kommt die Kälteempfindung zustande. Ja sogar eine leichte Erwärmung über den Indifferenzpunkt tut der Erscheinung keinen Eintrag. Man empfindet dann zwar häufig warm, aber zuweilen kalt; zuweilen folgt der kalten eine warme Empfindung; auch Wettstreit der Empfindungen wird beobachtet, niemals dagegen eine Hitzeempfindung. Regelmässiger und deutlicher wird freilich die Kälteempfindung, wenn das Reizobjekt eine Temperatur von 32—31° C. besitzt. Bei einer Reiztemperatur von 29,5° C. kann die Kälteempfindung ganz auffallend stark sein.

Eine weitere auffällige Erscheinung ist, dass selbst die Berührung kälteunempfindlicher Stellen eine lokale Kälteempfindung erzeugen kann, wenn die Kältequelle sich in der Nähe befindet und die primäre Kälteempfindung mächtig ist. Die Empfindung wird auch dadurch nicht beeinträchtigt, dass die Versuchsperson die Stelle, an welcher die Reizung vorgenommen wird, betrachtet.

Wenn man, anstatt den Kälteblock in dauernden Kontakt mit der Haut zu bringen, folgeweise Berührungen mit demselben ausführt, wobei gewöhnlich eine Kältenachempfindung zurückbleibt, kann man eine schnell vorübergehende Steigerung der Kälteempfindung bei Wattehölzchenberührung hervorrufen.

Die „taktile Kältemitempfindung“ zeigt wie die Hyperalgesie Beziehungen zu den Innervationsgebieten. Sie erstreckt sich an den Extremitäten mehr in die Länge als in die Breite und ist proximal mehr ausgesprochen als distal. Sie hält dieselben Grenzen ein wie das hyperalgetische Feld. So erstreckt sie sich, wenn der kalte Metallkolben im obersten Teil der vorderen Oberschenkelfläche angelegt wird, nicht oder nur wenig über die Inguinalfalte hinaus nach oben. Wird die Kältequelle am Unterleib oder an der Brust seitlich von der Mittellinie angebracht, so schneidet das Phänomen an der Mittellinie ab oder überragt dieselbe um höchstens eine Fingerbreite; auch bei grosser Annäherung an die Mittellinie ändert sich hieran nichts. Dagegen ist die Kältemitempfindung seitlich in schräg aufwärtsgehender Richtung (am Unterleib) ziemlich weit zu verfolgen. Legt man den Metallblock genau in der Mittellinie an, so geht der Bezirk eine kurze Strecke weit nach beiden Seiten. Wenn man an derselben Stelle, wo der Metallblock angelegt wurde, die Klemme anbringt, so entspricht der hyperalgetische Bezirk demjenigen, in welchem sich die Kältemitempfindung verbreitet gezeigt hatte, nur dass er meist grösser ist.

Wie bei der Hyperalgesie, so lässt sich auch bei der Kältemitempfindung eine seitliche Überlagerung der in der Längsrichtung gestreckten Bezirke nachweisen. So erstreckte sich der Bezirk, in welchem die Kältemitempfindung gefühlt wurde, bei der Applikation des Metallblocks an der radialen Seite des Handrückens bis zum vierten Metakarpalknochen und überschritt um drei Quersfinger das Handgelenk, um dort gleichfalls bis zur Verlängerung des vierten Metakarpalknochens zu reichen. Der Bezirk deckte sich vollkommen mit demjenigen der kutanen Hyperalgesie, welcher durch Anlegung der Klemme an derselben Stelle erzeugt wurde. Am Arm, am Oberschenkel ist die Überlagerung deutlich nachzuweisen.

Die Erhöhung der Kälteempfindlichkeit wurde in doppelter Weise genauer geprüft:

1. Es wurde eine physiologisch wenig kälteempfindliche Stelle ausgesucht und die dortige Kälteempfindlichkeit unter Anwendung des gleichen Kältereizes mit einer Stelle von physiologisch grösserer Kälteempfindlichkeit verglichen. Nunmehr wurde distal von der ersten Stelle der luftkalte Metallblock angelegt. Die Kälteempfindung erschien jetzt an dieser deutlich intensiver als an der Stelle von physiologisch stärkerer Kälteempfindlichkeit. Dieser Versuch wurde an verschiedenen Körperstellen mit meist dem gleichen Erfolge ausgeführt.

2. An der Beugefläche des Unterarmes wurde die Kältereizschwelle bei  $29,5^{\circ}$  C. festgestellt. Deutliche Kühleempfindung bei  $29,0^{\circ}$  C., Kälteempfindung bei  $28,0^{\circ}$  C.

Nach distaler Anlegung des luftkalten Metallkolbens wurde schon bei  $29,5^{\circ}$  C. eine deutlich kühle, bei  $29,0^{\circ}$  C. kalte, bei  $28,7^{\circ}$  C. recht kalte, bei  $28^{\circ}$  C. sehr kalte, eisige Empfindung festgestellt. Ähnliche Ergebnisse gaben andere Prüfungen. Auch die Prüfung einzelner Kältepunkte liess gesteigerte Kälteempfindung erkennen.

Es wurden jedoch auch Verminderungen der Empfindlichkeit beobachtet (s. unten).

Die Kältemitempfindung verschwindet im allgemeinen, sobald die Kältequelle von der Haut entfernt wird. Nur vereinzelt kommt es vor, dass sie eine ganz kurze Zeit nachdauert. Wird der Kontakt der Metallmasse zeitlich so lange ausgedehnt, dass dieselbe nicht mehr als kalt empfunden wird, so ergeben sich bezüglich der Kältemitempfindung divergierende Resultate: es kommt vor, dass dieselbe trotzdem nachweisbar ist, ebenso aber auch, dass sie erloschen ist.

Proximal mehr als distal von der Kältequelle ist in einer gewissen Ausdehnung (eine Hand breit und mehr) die Empfindung für Berührung herabgesetzt, welche stumpf und pelzig erscheint. Die Abstumpfung nimmt mit der Dauer des Kältekontaktes zu, intensiv wie räumlich. Sie ist besonders ausgesprochen, wenn der Metallblock Kälteschmerz erzeugt. Letzterer äussert sich in einem schmerzhaften, ausstrahlenden Ziehen ähnlich einem rheumatischen bzw. neuralgischen Schmerz. Auch Stiche werden proximal dicht am Kältekontakt stumpfer empfunden.

Die Steigerung der Kälteempfindlichkeit entwickelt sich nach der Anlegung des Kälteblocks sehr schnell, aber doch nicht momentan. Vielmehr geht ihr eine Herabsetzung der Kälteempfindlichkeit voran. Berührt man unmittelbar nach dem Auflegen der kalten Metallmasse die proximal und distal angrenzende Haut mit einem schwachen Kältereiz (Kupferzylinder von 25—26° C.), so findet man die Kälteempfindung zunächst deutlich herabgesetzt; distal ist diese Hypästhesie stärker und ausgedehnter als proximal. Auch verschwindet sie proximal äusserst schnell, um der irradiierenden Kältehyperästhesie und Kältemitempfindung Platz zu machen, während sie sich distal länger hält. Es ist ein interessantes Phänomen, wie zunächst der Kältereiz abgeschwächt empfunden wird und nun alsbald die Kälteflut hereinbricht und die Kältemitempfindung in sich steigernder Intensität auftritt. Proximal wird dieser Wechsel rapid durchlaufen, während es distal allmählich geht. Es handelt sich hierbei nicht um eine psychische Kontrastwirkung.

Auch die Wärmereize werden vermindert empfunden. Bei der Diffusion der Kälteempfindung tritt dann die oben beschriebene Erscheinung hinzu, dass die Wärmeempfindung durch die Kältemitempfindung unterdrückt wird. Man muss sich schwacher Wärmereize bedienen, um die Wärmehypästhesie nachzuweisen — wie es eben auch von den Kältereizen gesagt wurde; starke Wärmereize lassen die Abschwächung nicht so deutlich erkennen.

Ähnliche irradiierende und hyperästhesierende Wirkungen erzeugt die Anlegung eines warmen Metallblocks, nur dass die Erscheinung hier viel auffälliger ist. Der Kontakt der Wärmequelle hinterlässt eine, oft lange anhaltende Wärmenachempfindung. Um die Erscheinung der Wärmemitempfindung hervorzurufen, muss die primäre Wärmeempfindung ziemlich stark sein, jedoch bedarf es nicht einer Hitzeempfindung, wenn auch freilich die Erscheinung bei

einer primären Hitzeempfindung besonders auffällig hervortritt. Man wählt am besten eine physiologisch gut wärmeempfindliche Stelle zur Anlegung des Metallblocks aus.

Die Wärmeempfindung breitet sich wie eine warme, die Haut übergießende Flut von der Wärmequelle her aus, vorwiegend in proximaler Richtung. Dies geschieht in zunehmender Weise, deutlicher, als es bei der Kälteempfindung der Fall ist. Auch die Nachempfindung kann sich in proximaler Richtung ausdehnen. Berührung mit dem Watteholzchen (von Lufttemperatur) oder einem auf den Indifferenzpunkt erwärmten Reizobjekt erzeugt eine von Wärmeempfindung begleitete bzw. gefolgte Berührungsempfindung. Die Erscheinung ist proximal von der Wärmequelle stärker ausgesprochen als distal und erstreckt sich an den Extremitäten weniger seitlich als in der Längsrichtung. Sie ist am bemerkenswertesten in der Nähe der Wärmequelle und nimmt mit der Entfernung allmählich ab. Proximal ist sie über eine Handbreite weit nachzuweisen. Die Wärmeempfindung wird deutlich an der Stelle des taktilen Reizes gefühlt, und diese Lokalisation bleibt auch mit voller Schärfe bestehen, wenn die Versuchsperson die Stelle betrachtet. Also alles wie beim Kältesinn.

Auch von wärmeunempfindlichen Punkten aus gelingt das Phänomen, ebenso zuweilen, wenn man leicht-kühle Reize anwendet, wobei zunächst eine Kälteempfindung auftritt, die dann in Wärmeempfindung umschlagen kann. Isolierte, adäquate Reizung der Kältepunkte erzeugt Kälteempfindung, welche zuweilen nachträglich von Wärmeempfindung überlagert wird. Die Reizung von Punkten, welche weder Kälte- noch Wärmepunkte sind, mittels kalter Berührung erzeugt eine indifferente oder warme Empfindung, zuweilen zunächst eine indifferente, die dann von Wärmeempfindung gefolgt wird (s. unten).

Jedoch ist die Wärmemitempfindung intensiver, wenn man indifferente oder minimale Wärmereize anwendet bzw. wärmeempfindliche Stellen oder Wärmepunkte berührt. Ja auch die physiologische Wärmeempfindlichkeit spielt eine Rolle in dem Sinne, dass bei Berührung von physiologisch gut wärmeempfindlichen Stellen die Erscheinung deutlicher ist als beim Gegenteil. Dasselbe gilt übrigens auch für die vorher beschriebene Kältemitempfindung.

Die Wärmemitempfindung kann vereinzelt auch nach der Entfernung des Metallblocks noch kurze Zeit nachdauern. Sie kann ferner

gelegentlich noch vorhanden sein, obwohl die primäre Wärmeempfindung durch die Dauer des Kontaktes bereits unmerklich geworden ist.

Die subjektive sich ausbreitende Wärmeempfindung kann fehlen, ohne dass die Wärmemitempfindung fehlt; jedoch pflegt letztere allerdings besonders ausgesprochen zu sein, wenn erstere vorhanden ist.

Der gewöhnliche Verlauf der Erscheinung ist so, dass dieselbe kurze Zeit nach der Anlegung der Wärmequelle auftritt, sodann zunimmt und sich weiter ausbreitet, um weiterhin wieder abzunehmen, sobald die primäre Wärmeempfindung nachlässt.

Auf gute Adaptierung der entblösten Haut ist auch hier durchweg zu achten.

Die bei der Berührung gefühlte Wärmeempfindung präsentiert sich in verschiedener Weise. Bald fühlt man die Berührung unmittelbar warm, bald empfindet man eine blossе Berührung und gleichsam getrennt von ihr, aber an derselben Stelle eine mehr diffuse Wärmeempfindung. Die Bezirke, in welchen die Wärmemitempfindung sich verbreitet, gleichen wiederum den hyperalgetischen Feldern. Alles, was über Begrenzung und Überlagerung beim Kältesinn gesagt wurde, gilt auch für den Wärmesinn.

Es wurden auch beim Wärmereiz topographische Vergleichenngen der Prüfungsstelle mit Stellen von physiologisch höherer Wärmeempfindlichkeit ausgeführt, mit demselben Ergebnis wie beim Kältereiz.

Die irradiierende Ausbreitung der Wärmemitempfindung tritt besondere deutlich hervor bei folgendem Vorgehen: Man betupft eine beliebig ausgewählte Stelle, etwa an der Beugefläche des Unterarms, folgeweise mit dem Wattehölzchen, legt sodann den erwähnten warmen Metallblock distal von der Stelle an und betupft letztere weiter; nach kurzer Zeit fühlt die Versuchsperson, wie die Wärme sozusagen angekrochen kommt, und empfindet nunmehr die Berührungen als warm.

Wie es beim Kältekontakt beschrieben wurde, so erzeugt auch der Wärmeblock, dessen Temperatur so bemessen wurde, dass es zu einer Hitzeempfindung nicht kam, eine deutliche Herabsetzung der Berührungsempfindung, besonders proximal, etwa vier Finger breit. Diese Hypästhesie ist nicht etwa die Folge des Druckes der Metallmasse, welcher freilich an sich eine gewisse Herabsetzung der Berührungsempfindlichkeit, aber in viel geringerer Verbreitung und Stärke hervorrufen kann; denn wenn man dem Metallblock eine indifferente oder lauliche Temperatur gibt, so entsteht nur eine

minimale Hypästhesie in einem schmalen, einen halben Finger breiten Abschnitt unmittelbar proximal von demselben. Die durch den Wärmekontakt ausgelöste Hypästhesie bildet sich, wenn man die Metallmasse der allmählichen Abkühlung — aber nicht unter den Indifferenzpunkt — überlässt, bis auf den erwähnten schmalen Streifen zurück. Die Hypästhesie ist von geringerer Stärke und weniger ausgedehnt als die durch den Kältekontakt bewirkte.

Tiefer Druck erscheint in der Nähe des Wärmeblocks weicher und milder, ohne dass die Empfindung für die Druckunterschiede anscheinend verändert ist. Die Erscheinung bedarf noch der näheren Untersuchung.

Schwache Wärmereize (von  $37,0^{\circ}$  C.) werden unmittelbar nach dem Auflegen der warmen Metallmasse abgeschwächt empfunden; die Hypästhesie ist distal stärker und ausgedehnter als proximal. Die Irradiation und Steigerung der Wärmeempfindlichkeit macht dieser Abschwächung alsbald ein Ende. Es verläuft alles, ebenso wie es vorher für die Kältereize nach dem Anlegen des Kälteblocks beschrieben wurde.

Auch eine leichte, schnell vorübergehende Herabsetzung der Kälteempfindlichkeit in einer ein bis zwei Finger breiten proximalen Zone ist vorhanden.

Im ganzen ist die hypästhesierende Wirkung auf Druck- und Temperaturreize bei Anwendung der kalten Metallmasse bedeutender als bei derjenigen der warmen.

Um festzustellen, ob die beschriebene Temperaturmitempfindung auf einer fortgeleiteten Abkühlung oder Erwärmung der Haut beruht, wurden Temperaturmessungen mittels eines Hautthermometers (mit flach aufliegender Spirale) ausgeführt. Für die Versuche wurde der Unterarm gewählt. Derselbe muss zunächst längere Zeit entblösst gehalten werden, bis die Abkühlung der Haut einen konstanten Wert erreicht hat, da sonst Abkühlungen vorgetäuscht werden können, welche in Wirklichkeit durch die Entblössung bedingt sind. Es wurden Stellen bezeichnet und gemessen, welche in verschiedenen Entfernungen von dem aufzulegenden kalten oder heissen Metallblock gelegen waren. Nach Anlegung des letzteren wurde die Messung fortgesetzt. Das Ergebnis war, dass sowohl der kalte wie der heisse Metallblock Temperaturveränderungen der Haut nur in nächster Nähe erzeugt, und dass zu der Zeit, wo entfernt von jenem die kalte oder heisse Mitempfindung auftritt, objektive

Temperaturveränderungen an der Stelle der Empfindung fehlen.  
Beispiele:

1. Unterarm längere Zeit entblösst. Die Temperatur der gewählten Stelle hält sich auf  $30,8^{\circ}\text{C}$ . Der unter der kalten Wasserleitung gekühlte Metallblock, welcher eine eisige Kälteempfindung hervorruft, wird distal 1,6 cm entfernt angelegt (vom Rande der Thermometerspirale bis zum Rande des Metallblocks gemessen). Die Kälteempfindung breitet sich schnell proximalwärts aus, so dass Berührungen mit dem Wattehölzchen weit über die gemessene Stelle hinaus kalt erscheinen. Die Temperatur der letzteren hält sich währenddessen noch auf  $30,8^{\circ}\text{C}$  und sinkt erst nach längerer Zeit auf  $30,7^{\circ}\text{C}$ .

2. Eine andere Stelle hat sich nach längerer Entfernung auf  $29,8^{\circ}\text{C}$  eingestellt. Distal wird in 3,5 cm Entfernung der heisse Metallblock angelegt. Die Wärmeempfindung breitet sich aus, so dass besonders die proximale Partie, an welcher das Thermometer angelegt ist, wie in eine warme Flut getaucht erscheint und die Berührungen mit der Thermometerspirale selbst warm empfunden werden. Trotzdem steigt die Temperatur dortselbst nicht. Das Thermometer war zudem noch annähernd auf die Hauttemperatur vorgewärmt worden. Auch in der Entfernung von 1 cm vom Metallblock keine Erhöhung der Hauttemperatur. Erst bei 0,3 cm Entfernung steigt das Thermometer, welches gegen strahlende Wärme geschützt wurde, auf  $30,4^{\circ}\text{C}$ . Nach der Entfernung des Metallblocks zeigte die stark gerötete Haut dortselbst  $34,5^{\circ}\text{C}$ .

Eine sichtbare Rötung der Haut wurde bei der Ausbreitung der subjektiven Wärmeempfindung nicht bemerkt. Erstere bildete sich nur in der unmittelbaren Umgebung der Wärmequelle.

3. Eine Stelle des Unterarms hatte sich nach längerer Entblössung auf  $31,8^{\circ}\text{C}$  eingestellt (die Zimmertemperatur war an diesem Tage höher). Der heisse Metallkloben wird distal in der Entfernung von 4,3 cm angelegt. Es verläuft alles, wie oben beschrieben (subjektive Wärmeempfindung, Wärmemitempfindung bei Berührung), die Temperatur der Stelle verändert sich nicht. Das Thermometer wird nunmehr langsam gegen den Metallblock hin vorgeschoben. Erst bei einer Entfernung von 0,5 cm steigt es, und zwar auf  $32,4^{\circ}\text{C}$ .

4. Eine Stelle des Unterarms zeigt  $30,4^{\circ}\text{C}$ . In 1,6 cm Entfernung distal wird der Metallblock so heiss angelegt, dass es eben ertragbar ist. Intensive Wärmeempfindung in weiter proximaler Ausbreitung. Wärmemitempfindung deutlich. Das Thermometer zeigt dabei keine

Erhöhung. Erst später, sehr allmählich beginnt es zu steigen und erreicht 32,3° C.

Die Messungen lassen erkennen, dass eine sehr langsame Abkühlung oder Erwärmung der Haut durch Fortleitung eintritt, welche mit der Erscheinung der Irradiation der Temperaturempfindung und der taktilen Temperaturmitempfindung nichts zu tun hat. Auch vasomotorische Vorgänge spielen keine Rolle.

Was das Wesen der taktilen Temperaturmitempfindung betrifft, so entsteht zunächst die Frage, ob es sich um eine echte Temperaturempfindung handelt oder etwa um eine Empfindung, welche auf die Erregung der allgemein sensiblen Nerven der Haut zurückzuführen ist, wie wir es oben von der anscheinenden Temperatursinnhyperästhesie bei der Hautklemme feststellten. Diese Möglichkeit wird um so näher gerückt, als Kälte- wie Wärmereize auch zu Erregungen dieser Nerven führen und Spannungs- und Schmerzempfindungen hervorrufen. Kälte kann auch Herabsetzung der Berührungsempfindung bewirken. Ferner ist die bekannte Beobachtung zu erwähnen, dass kalte Gegenstände eine stärkere Druckempfindung erzeugen als warme, welche man gleichfalls auf eine gleichzeitige Reizung der sensiblen Nerven zurückführen muss. Es kommt hinzu, dass die Kältemitempfindung besonders dann ausgesprochen ist, wenn der Kältereiz „eisig“, die Wärmemitempfindung, wenn der Wärmereiz „heiss“ empfunden wird. Beide Qualitäten aber, eisig wie heiss, sind keine reinen Temperaturempfindungen, sondern enthalten noch eine aus der Mitreizung sensibler Hautnerven stammende Teilempfindung. Endlich ist in diesem Zusammenhange des merkwürdigen Umstandes zu gedenken, dass die Berührung temperaturunempfindlicher Punkte und Stellen die taktile Temperaturmitempfindung hervorrufen kann.

Demgegenüber ist zu bemerken, dass die taktile Temperaturmitempfindung an sich die Qualität einer reinen Temperaturempfindung aufweist. Sie ist weder eisig noch brennend noch stechend, wie es bei der Klemmhyperalgesie der Fall war. Sie findet sich ferner auch, ohne dass die primäre Temperaturempfindung einen eisigen oder heissen Charakter aufweist; dass der letztere die Mitempfindung besonders deutlich hervortreten lässt, liegt vielmehr offenbar daran, dass eben die primäre Temperaturempfindung in solchen Fällen besonders intensiv ist. Freilich kann es vorkommen, dass die taktile Temperaturmitempfindung nebenher noch etwas Brennendes oder Eisiges enthält, wenn die primäre Empfindung durch diese Empfindungs-

bestandteile ausgezeichnet war. Sie kann namentlich bei sehr starkem, primärem Kältereiz, welcher schneidend empfunden wird, gleichfalls brennend oder schneidend sein. Hier handelt es sich dann neben der Irradiation der Kälteempfindung noch um eine irradiierende Hyperalgesie, welche der durch die Klemme bedingten analog ist.

Es liegt ferner sehr nahe, die Erscheinung der taktilen Temperaturmitempfindung als eine einfache Sinnestäuschung anzusehen, nämlich als eine Verschmelzung der Berührungsempfindung mit der an einer anderen Stelle der Haut ausgelösten Temperaturempfindung. Das Auftreten der Temperaturmitempfindung bei Berührung temperaturunempfindlicher Stellen, ferner der Wärmeempfindung bei Kältereizen, der Kälteempfindung bei Wärmereizen drängt geradezu zu dieser Auffassung. Hierzu ist zu bemerken: Eine Sinnestäuschung durch Verschmelzung der Empfindungen kommt tatsächlich vor, besonders wenn die Berührung in grosser Nähe des Metallblocks ausgeführt wird. Bei geschärfter Aufmerksamkeit jedoch vermag man die beiden Empfindungen zu trennen: man nimmt die Berührung wahr und, von ihr getrennt, die diffuse an der Stelle der Metallmasse vorhandene dauernde Temperaturempfindung. In einem solchen Falle kann man von einer taktilen Temperaturmitempfindung nicht sprechen. Ist dagegen letzteres Phänomen wirklich vorhanden, so liegt eine irreführende Verschmelzung nicht vor. Die Beobachtungen, welche gegen eine solche sprechen, sind folgende:

1. Die taktile Temperaturmitempfindung wird streng lokalisiert an der Berührungsstelle empfunden, auch wenn die Versuchsperson die Stelle betrachtet. Man nimmt die Empfindung räumlich getrennt von der diffusen Temperaturempfindung an der Kontaktstelle wahr. Nur dann, wenn die letztere die irradiierende Verbreitung genommen hat, ist eine räumliche Sonderung natürlich nicht möglich.

2. Die taktile Temperaturmitempfindung tritt in einer Verbreitung auf, welche den hyperalgetischen Feldern, d. h. spinalen Innervationsgebieten, entspricht. Sie fehlt selbst in relativ geringer Entfernung vom Metallblock oft, wenn die Berührung seitlich oder distal geschieht, während sie proximal in erheblicher Entfernung vorhanden ist. Wenn es sich um Verschmelzung handelte, so würde lediglich die Entfernung von der Temperaturquelle, und zwar in beliebiger Richtung, bestimmend sein.

3. Das Gebiet, in welchem die in Rede stehende Erscheinung zustande kommt, vergrössert sich während des Kontaktes des Metall-

blocks (besonders in proximaler Richtung). Dies wäre bei Verschmelzung unverständlich und spricht für Irradiation.

4. Es kommt gelegentlich vor, dass die Erscheinung noch vorhanden ist, nachdem die primäre Temperaturempfindung bereits stark abgenommen hat oder erloschen ist.

5. Wenn es auch gelingt, von temperaturunempfindlichen Stellen aus die Mitempfindung hervorzurufen, so ist sie doch viel stärker, wenn die Berührung temperaturempfindliche Stellen trifft. Ebenso erzeugt der gleichsinnige adäquate Reiz die Erscheinung in grösserer Intensität als der indifferente. Endlich macht es für die Deutlichkeit der Erscheinung einen Unterschied, ob für den Berührungsreiz Stellen von starker oder geringer physiologischer Temperaturempfindlichkeit ausgesucht werden.

Durch Abkühlung bzw. Erwärmung der Haut sowie durch Verengerung oder Erweiterung der Gefässe ist die Erscheinung gleichfalls nicht zu erklären (s. oben).

Vielmehr erzeugt der Temperaturreiz durch seine Intensität und Dauer eine irradiierende Erregung der die Temperaturempfindung leitenden Nervenbahnen, und zwar wahrscheinlich in der grauen Rückenmarksubstanz, ähnlich wie der Schmerzreiz und von ähnlicher Verbreitung wie die hyperalgetischen Felder. Ausdruck dieser Irradiation ist zum Beispiel die subjektive, sich über ein gewisses, besonders proximales Gebiet der Haut ergiessende Temperaturempfindung. Taktile Reize, welche in das Irradiationsgebiet fallen, erzeugen folglich eine Temperaturempfindung als „Mitempfindung“. Die Erscheinung ist nicht etwa so aufzufassen, dass die — bekanntlich tatsächlich vorhandene — mechanische Erregbarkeit der peripherischen Endigungen der Temperaturnerven erhöht ist, sondern so, dass bei der zentralen Fortleitung der taktilen Reize die im Zustande erhöhter Erregbarkeit befindlichen Stellen der zentralen Temperatursinnleitungsbahn mit anklingen. Diese Vorstellung schliesst freilich die Annahme ein, dass die Leitungsbahnen der taktilen Reize mit denjenigen der Temperaturreize zentralwärts in irgendeiner Verbindung stehen. Eine solche Verbindung muss man jedoch auch aus anderen Gründen annehmen. Die Struktur der zentralen Bahnen lässt alle denkbaren Verbindungen zu; die geordnete Leitung vollzieht sich durch die Abstimmung der Erregbarkeitswerte der leitenden Neurone (Neuronschwellen). Zum mindesten müssen die taktilen und die Temperatursinnbahnen in den Reflexbögen zusammentreffen, da Be-

rührungen und Temperatur- (besonders Kälte-) Reize die gleichen Reflexbewegungen hervorrufen.

Die gleiche Annahme, nur in umgekehrter Richtung, muss auch gemacht werden, um die Schmerzhaftigkeit von Temperaturreizen im hyperalgetischen Felde zu erklären. Denn da die Hyperalgesie auch hier nur in zentralen (spinalen) Bahnen sitzen kann, so muss eine Verbindung vorhanden sein, mittels welcher die Erregung der Temperatursinnesnerven auf ihrem zentralen Wege die Schmerzbahn mit erregt. Ferner weist die Beobachtung, dass im hyperalgetischen Felde die Temperaturempfindungen, im kälte- und wärmehyperästhetischen Felde die Berührungsempfindungen herabgesetzt sind, auf solche zentralen Kontakte der Leitungsbahnen hin.

Auch die durch die Klemme erzeugte Hyperalgesie ist so aufzufassen, dass die in ihr Gebiet fallenden Reize den Schmerz als Mitempfindung anklingen lassen<sup>1)</sup>. Der durch Temperaturreize ausgelöste Schmerz kann zum Teil darauf zurückgeführt werden, dass dieselben stets die auf Druckreize eingestellten schmerzempfindlichen Nerven mit erregen (denn die Temperatursinnesnerven sind an sich analgetisch), teils darauf, dass die die graue Substanz passierenden Temperaturnervenerregungen infolge des hyperalgetischen Zustandes jener schmerzhaftere Mitempfindungen anklingen lassen.

Die Ähnlichkeit, welche der Temperatursinn mit der Schmerzempfindung in bezug auf das Zustandekommen der Irradiation und zentralen Übererregbarkeit zeigt, beruht offenbar darauf, dass beide durch die graue Substanz geleitet werden. Die engen gemeinsamen Beziehungen dieser Empfindungen sind auch sonst hinreichend bekannt.

Es ergibt sich als selbstverständliche Folgerung aus dieser Auffassung, dass der gleichsinnige adäquate Reiz, welcher das überempfindliche irradierte Gebiet direkt passiert, die erhöhte Empfindung noch intensiver zum Anklingen bringen wird. Auch macht es keine Schwierigkeiten der Erklärung, dass der adäquate Reiz paradox wirken kann. Wir brauchen die Erfahrung, dass Kältereize auch die Wärmernerven, Wärmereize die Kälternerven physiologisch zu erregen vermögen, gar nicht heranzuziehen, denn viel-

1) Wenn diese Vorstellung richtig ist, so würde allerdings die diffuse Hyperalgesie, welche durch die Klemme hervorgerufen wird, zu einem Einwand gegen die Lehre von den spezifischen Schmerzernerven keinen Anlass geben. Dass ich diese Lehre trotzdem in ihrer gegenwärtig vielfach vertretenen Form für falsch halte, hoffe ich in einer weiteren Arbeit beweisen zu können.

leicht kommt bei unserer Beobachtung die Paradoxie nur auf Rechnung des gleichzeitigen taktilen Reizes.

Übrigens spricht der Umstand, dass der Wärmereiz bei der zentralen Hyperästhesie und Irradiation des Kältesinns Wärme- und Kälteempfindung, aber nicht eine heisse Empfindung hervorruft, und ebenso die umgekehrte Beobachtung gegen die oben erwähnte Alrutz'sche Theorie von der Natur der Hitzeempfindung.

Wenn die zentrale Hyperalgesie, wie im Klemmversuch, imstande ist, unterschmerzliche Reize schmerzhaft werden zu lassen, so können vielleicht auch Nerven, welchen unter physiologischen Verhältnissen eine Schmerzschwelle nicht zukommt, unter der Einwirkung eines dauernden Reizzustandes schmerzempfindlich werden. Dies würde zum Beispiel auf die Frage des peritonitischen Schmerzes Licht werfen.

## VI. Deutung der beschriebenen Erscheinungen.

Die Hypästhesie ist auf eine Hemmung der Erregung bei ihrer zentralen Fortleitung zu beziehen, nicht etwa auf eine psychische Überlagerung der Empfindung durch den Schmerz. Dies wird dadurch bewiesen, dass die Hypästhesie sich wie die Hyperalgesie nach spinalen Bezirken verbreitet. Der hemmende Einfluss des Schmerzes erstreckt sich nicht bloss auf die Berührungs- und Druckempfindung (auch Kitzelempfindung), sondern auch auf die Temperaturempfindung. Ob es auch im Bereich der Tiefensensibilität zu einer Hypästhesie kommt, ist nicht zu entscheiden, weil bei jedem tieferen Eindruck der Schmerz vorwaltet. Der Klemmversuch zeigt, wie ein Reiz gleichzeitig erregbarkeitssteigernde und -hemmende Einflüsse entfaltet. Die Hemmungswirkung steht in einem gewissen Verhältnis zur Stärke der Reizung.

Kälte reizt die sensiblen Nerven mehr als Wärme und entfaltet auch grössere Hemmungen. Es ist hiernach verständlich, dass Kälte Schmerzen sowohl hemmen wie verstärken oder hervorrufen kann. Ob im Einzelfall die erregende oder die hemmende Wirkung mehr hervortritt, wird von verschiedenen Umständen abhängen, besonders von der latenten Überempfindlichkeit, welche durch Kälte Wirkung in einen so grossen Schmerz übergehen kann, dass die Hemmungswirkung der Kälte zurücktritt.

Wärme vermag Schmerzen zu steigern, aber nicht in so hohem Grade als Kälte. Ihre Hemmungswirkung ist sehr gering. Die

schmerzstillende Wirkung der Wärme kann daher nicht allein auf Hemmung beruhen. Immerhin wird es vorkommen, dass ihr hemmender Einfluss bei gewissen Schmerzzuständen denjenigen der Kälte übertrifft, weil ihre erregenden Wirkungen gering sind und ihr dabei eine starke Irradiation zukommt. Sie wird viel weniger als die Kälte eine zunächst steigernde Wirkung auf den Schmerz ausüben. Hitze wirkt mehr erregend als Wärme und kann daher Schmerzen stärker hemmen als diese.

Die Verbindung der Kältenerven mit den sensiblen müssen (funktionell gedacht) inniger sein als die der Wärmenerven.

Die schmerzlindernden Wirkungen der Wärme müssen hauptsächlich in anderer Weise zustande kommen als durch zentrale Hemmung. Es kommen folgende Arten der Wirkung in Betracht:

1. Wärme kann schmerzlindernd wirken, indem sie Kälte ablöst. Leichte Kälteeinflüsse sind sehr häufig vorhanden, ohne dass wir ihrer gewahr werden. Die erregende Wirkung der Kälte fällt weg, indem Wärme an ihre Stelle tritt. Die Erwärmung wird energischer wirken als die blosse Entfernung der abkühlenden Einflüsse, weil diese noch nicht sofort das Wärmegefäll in der Haut beseitigt.

2. Häufig handelt es sich bei therapeutischen Wärmeanwendungen in Wirklichkeit um Hitze, welche in höherem Grade hemmend wirkt.

3. Wärme übt teils lokal, teils reflektorisch in inneren Organen eine hyperämisierende Wirkung aus. Die reflektorische Wirkung dürfte auch den Kältereizen zukommen.

4. Die lokale Temperatursteigerung der Gewebe (Nerven usw.) hat vielleicht direkte Wirkungen auf den schmerzhaften Prozess (Diathermie?).

Der Nervenreiz hat die Neigung, bei zunehmender Intensität sich in der grauen Substanz der zentralen Leitungsbahnen auszubreiten (Irradiation)<sup>1)</sup>, und zwar vorwiegend in zentripetaler Richtung<sup>2)</sup>. Hierbei wirkt er hemmend auf anderweitige, nachbarschaftliche Erregungen. Letztere zeigen nach zwei verschiedenen Richtungen hin eine Veränderung: einerseits erscheinen sie geschwächt;

---

1) Die Irradiation ist vielleicht ein „zweckmässiger“ Vorgang, welcher zur Folge hat, dass einer Schädigung der Nervenbahnen durch die Intensität der Erregung vorgebeugt wird.

2) Ähnliches sehen wir bei der Ausbreitung der Reflexe.

andererseits rufen sie Miterregungen des Irradiationsgebiets hervor. Die Erregung der nachbarschaftlichen Bahnen irrt also gleichsam ab: sie gelangt in das von dem ersten Reiz eingenommene Feld und setzt sich in der eigenen Leitungsbahn mit verminderter Stärke fort. Man muss sich vorstellen, dass die irradiierende Erregung neue, in einem gewissen Umkreise eintretende Erregungen ablenkt und zum Teil aufsaugt. So kommt es zu den Erscheinungen der Hemmung. Die Hypästhesie wird somit durch den teilweise „parodischen“ Verlauf der Erregung bedingt. Der Vorgang kann so gedacht werden: Bei der Irradiation werden Stücke der Leitungsbahnen (graue Substanz) in einem gewissen Umfange erregt, d. h. in einen Zustand erhöhter Anspruchsfähigkeit (Dissimilationsbereitschaft) gesetzt (Vertiefung der intermediären Neuronschwellen). Erregungen, welche dies Gebiet passieren oder auch nur streifen (Kollateralen der Nervenbahnen), werden folglich zum Teil in dasselbe übergehen, d. h. abgelenkt werden und ihren Weg zum Gehirn mit einer gegen die Norm verringerten Energie fortsetzen.

Dieser Vorgang wird von zwei Momenten abhängig sein: dem gegenseitigen Intensitätsverhältnis der Reize und den topographischen (nachbarschaftlichen) Beziehungen. Dem entspricht nun der Tatbestand. Die Hemmung ist um so stärker, je enger benachbart die peripherischen Reizungen sind; es ist von besonderer Bedeutung, dass dieselben dem gleichen Wurzelbezirk angehören. Die durch einen Reiz ausgelöste Hemmungswirkung ist ferner von seiner Intensität und von dem Verhältnis derselben zur Intensität der anderen in Konkurrenz tretenden Reizungen abhängig. Aber nicht bloss in dem Sinne, dass die stärkere Erregung die schwächere aufsaugt, vielmehr übt auch umgekehrt die letztere einen hemmenden Einfluss auf die erstere aus. Man kann die Erklärung in demselben Prinzip finden: indem die schwächere nachbarschaftliche Erregung zu einem Teile in das Irradiationsgebiet abgelenkt wird, bahnt sie Wege, welche ihrerseits wieder ablenkend auf den hyperalgetischen Zustand des Irradiationsgebietes wirken. Die in dem von Spannungen erfüllten Felde aufgehäuften Energie erhält Abzugskanäle, das Drängen nach Ausbreitung wird durch die Verringerung der Widerstände, wie sie durch die nachbarschaftlichen Erregungen bewirkt wird, unterstützt.

In diesem Sinne dürfte zum grossen Teil auch die therapeutische Anwendung „ableitender“, „kontrastimulierender“ Reize wirken.

Ob ähnliche Vorgänge, wie wir sie für die Leitungsbahnen annehmen, auch in der Hirnrinde selbst stattfinden, entzieht sich vorläufig ganz der Beurteilung. Wir wissen, dass innerhalb der Bewusstseinstätigkeit Hemmungen durch Ablenkung der Aufmerksamkeit stattfinden wie andererseits Steigerungen der Empfindungen durch Konzentration der Aufmerksamkeit, dass stark erregte Vorstellungskomplexe hemmend wirken usw. Es wäre verlockend, gewissen Parallelen zwischen diesen Bewusstseinsvorgängen und den Hemmungen und Bahnungen, welche sich innerhalb der Leitungsbahnen abspielen, nachzugehen; aber dies würde in das Reich der Hypothese führen.

Die weit fortgeleiteten Wirkungen der Hautreize sind in klinischer und therapeutischer Beziehung von Wichtigkeit und klären manche Zusammenhänge auf. Um nur eins der in Betracht kommenden Momente anzuführen, so ist man im allgemeinen geneigt, das Wandern des Schmerzes und seine wechselnden Ausstrahlungen in dieses und jenes Nervengebiet ohne weiteres auf eine Fortbewegung des pathologisch-anatomischen Prozesses (Neuritis usw.) zu beziehen. Aber diese Schlussfolgerung ist keineswegs zwingend: es kann sich ebenso wohl auch um Irradiationen hyperalgetischer Bezirke handeln, welche durch einen stabilen Reizzustand geschaffen sind. Ja, der Nervenstamm selbst kann, wie gezeigt wurde, sekundär druckschmerzhaft werden. Dies kommt auch klinisch vor und kann dann leicht irreführend wirken.

Vorstehende Arbeit wurde grösstenteils während meines Aufenthaltes im Felde ausgeführt. Dies möge zur Entschuldigung dafür dienen, wenn dieselbe hier und da technischen Laboratoriumsansprüchen nicht voll genügt.