1. Einleitung
Akupunktur und High-Tech Möglichkeiten

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts zeichnete sich in der Medizin eine Wende zu einer naturwissenschaftlich orientierten Disziplin ab. Ein enormer Fortschritt in der Entwicklung neuer medizintechnischer Verfahren setzte ein, der speziell in der letzten Dekade einen entscheidenden Aufschwung erlebt hat. Vor allem die Forschungen im Bereich der Mikroprozessortechnik sind als Meilensteine bei der Weiter- und Neuentwicklung der Medizingerätetechnik zu sehen. So gibt es in letzter Zeit einen allgemeinen Trend zur digitalen Technik und zum Einsatz von auf Personal-Computern basierenden Systemen. Diese digitale Verarbeitung der medizinischen Daten ermöglicht mannigfaltige Anwendungs- bzw. Verarbeitungsvarianten, sei es bei der Analyse, Protokollierung und Darstellung oder bei der Speicherung und den anschließenden Offline-Auswertungen der Biosignale. In immer stärkerem Maße werden in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Wissenschafter der verschiedensten Disziplinen miteinbezogen.

Das Thema des vorliegenden Bandes ist so einem multidisziplinären Bereich, nämlich der *Computergestützten Objektivierungstechniken der Akupunktur* gewidmet. Es ist dies eine Thematik, bei der gerade die Interdisziplinarität die Voraussetzung für eine positive und effiziente Entwicklung ist.

Die Symbiose von Medizin und Technik hat im allgemeinen trotz evidenter unerwünschter Begleiterscheinungen doch vorwiegend zu einem erheblichen Nutzen für die Patienten geführt. Es muß auch den größten Skeptikern klar sein, daß die moderne Technik wesentlich dazu beigetragen hat, die Lebenserwartung des Menschen zu erhöhen. Vor Aufkommen der modernen Technik lag die durchschnittliche Lebenserwartung des Menschen bei rund 20 Jahren, jetzt liegt sie zwischen 70 und 80 Jahren.

Trotz aller Skepsis gegenüber Technik in der Medizin wünscht heute wohl niemand mehr, wenn es die Situation erfordert, ohne Einsatz von technischem Equipment behandelt zu werden. Die Technik ist in der Medizin heute ein tragendes Faktum und ein unentbehrliches Hilfsmittel für den Mediziner geworden. Die mit Hilfe von Computern ermittelten Daten werden jedoch auch bei der Akupunktur immer nur eine Unterstützung für eine ärztliche Entscheidungsfindung sein dürfen. Man muß aber mit allem Nachdruck darauf hinweisen, daß sich technische Perfektion und Menschlichkeit keinesfalls ausschließen, sondern einander ergänzen sollen.

2. Visualisierung peripherer Effekte der Akupunktur

2.1 Laser Doppler Imaging

2.1.1 Einleitung

Mit dem neuen medizintechnischen Laser Doppler Imaging (LDI) Verfahren kann die Durchblutung oberflächennaher Gewebestrukturen nichtinvasiv erfaßt und abgebildet werden. Die Methode beruht auf dem Laser-Doppler-Prinzip, wobei die Daten berührungslos aus dem reflektierten Licht gewonnen werden und ein farbcodiertes Bild die räumliche Verteilung der Gewebeperfusion anzeigt. Laser Doppler Imaging ist eine Weiterentwicklung der punktuellen Laser Doppler Flowmetrie. Dabei wird ein Laserstrahl niedriger Energie auf die Hautoberfläche gerichtet. Ein Servomotor führt den Laserstrahl an bis zu 4096 verschiedenen Stellen von Meßpunkt zu Meßpunkt.

Bisherige Hauptanwendungsbereiche des LDI sind in erster Linie Fachbereiche wie beispielsweise Dermatologie, plastische Chirurgie sowie Anästhesiologie und Intensivmedizin [2,6-10].

Ziel der vorliegenden randomisierten, placebokontrollierten Studie im cross-over Design war es, erstmals durch Akupunktur hervorgerufene periphere Änderungen der Perfusion im Bereich der Mittelfingerspitze an 51 gesunden Probanden mit Hilfe des LDI zu objektivieren und zu quantifizieren.

2.1.2 Methode

2.1.2.1 „Laser Doppler Perfusion Imaging“

Das „PIM II Laser-Doppler-Perfusion Meßsystem“ von Lisca AB (Linköping, Schweden) umfaßt im wesentlichen einen Scankopf, eine Opto-Isolator-Einheit, einen AD-Konverter sowie einen PC. Zum Scankopf gehört ein Feststofflaser, ein optisches System für das schrittweise Scannen und eine Optodetektoreinheit. Die Opto-Isolator-Einheit beinhaltet Schaltkreise für die Signalauswertung, Schrittmotor-Antriebe und Schaltkreise für die Gewährleistung einer galvanischen Isolierung zwischen Scankopf und

Computer. Sämtliche Steuerbefehle für das System werden über Computertastatur und Maus über die menügesteuerte Systemsoftware auf Windowsbasis eingegeben [13].

Ein Feststofflaser (670 nm) tastet nacheinander schrittweise die Gewebeoberfläche ab (siehe Abb. 2.1.1). Das zurückgeworfene Licht wird vom System an 4096 Stellen der Gewebeoberfläche auf Doppler-Erscheinungen untersucht, wie sie bewegende Blutzellen im oberflächlichen mikrovaskulären Gefäßbett hervorrufen. An jeder einzelnen Gewebestelle durchdringt das monochrome Laserlicht das Gewebe bis zu einer Tiefe von einigen Hundert Mikrometern. Bei Berührung eines sich bewegenden Teilchens wie z.B. einer roten Blutzelle erfährt ein Teil der Photonen gemäß dem Doppler-Prinzip eine Frequenzveränderung, andere, von nicht bewegtem Gewebe getroffene Photonen erfahren keine solche Veränderung. Ein kleiner Teil des zurückgeworfenen Lichts stellt eine Mischung aus verändertem und nicht verändertem Licht dar und beeinflußt den Fotodetektor im Scankopf. Die Mischung der Lichtstrahlen auf der Fotodetektoroberfläche hat eine Veränderung des Fotostroms zur Folge, deren Ausmaß die Doppler-veränderten Bestandteile des Lichts bestimmen. Große Doppler-Frequenzverschiebungen aufgrund sich mit hoher Geschwindigkeit bewegender Blutzellen erhöhen gewöhnlich die Frequenz des Fotostroms, während die Höhe der Stromfluktuation die Anzahl der sich bewegenden Blutzellen widerspiegelt. Wird dieser Fluktuationsanteil des Fotostroms durch ein Filternetz geleitet und die unmittelbare Kraft errechnet, läßt sich ein Signal zur Gewebedurchblutung darstellen (d.h. Durchschnittsgeschwindigkeit mal Konzentration der Blutzellen innerhalb der Gewerbeverteilung).

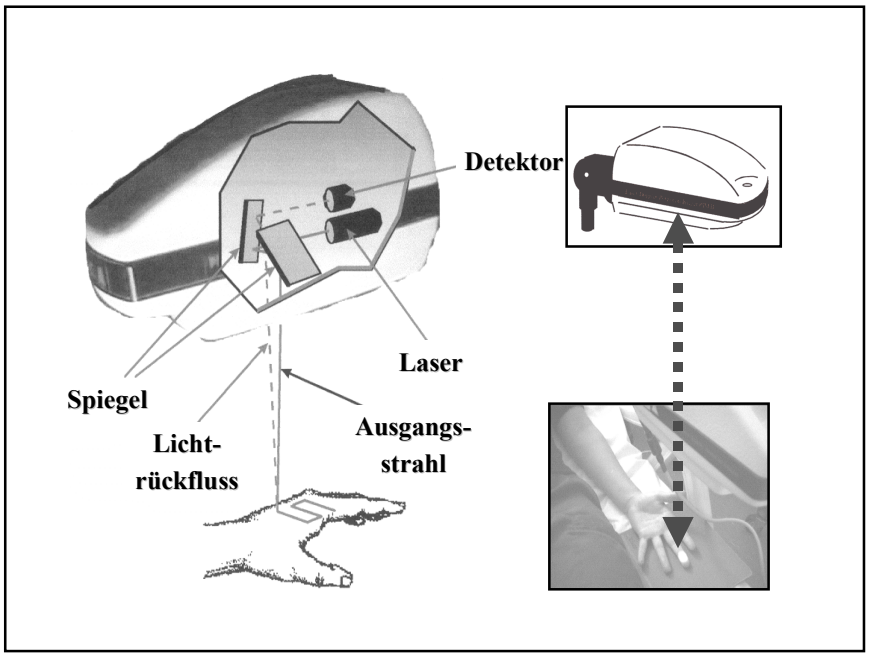


Abb. 2.1.1: Methode des Laser Doppler Perfusion Imaging (modifiziert mit freundlicher Genehmigung von Lisca, Linköping, Schweden).

Während der Aufzeichnung eines Doppler-Signals muß unbedingt jegliche relative Bewegung zwischen Laserstrahl und Gewebe vermieden werden, um die Entstehung von Bewegungsartefakten zu verhindern. Das PIM II System gewährleistet dies durch die patentierte Schritt-für-Schritt Scanweise. Der Laserstrahl bleibt im Verhältnis zum Gewebe unbeweglich, während das zurückgeworfene Licht analysiert wird. An jeder einzelnen Meßstelle bleibt der Laserstrahl etwa 50 ms lang (analog der unteren Bandbreite von 20 Hz) zur Aufzeichnung des Lichtrückflußes stehen.

2.1.2.2 Probanden, Akupunktur und Prozedere

Untersucht wurden 51 freiwillige Versuchspersonen (mittleres Alter: 25,3 $\pm$ 7,6 Jahre; 19 bis 59 Jahre; 33 Frauen und 18 Männer). Keiner der Probanden stand zum Zeitpunkt der Untersuchung unter medikamentösem Einfluß. Weiters hatte keine der untersuchten Personen wissentlich periphere Durchblutungsstörungen. Alle Versuchspersonen wurden über den Ablauf der Untersuchung – soweit es das Studiendesign nicht beeinflußte – informiert und gaben schriftlich ihr Einverständnis. Für die Studie wurde die

Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Graz (11-017;00/01) eingeholt.

Die Versuchspersonen wurden am Beginn der Untersuchung bequem und entspannt auf einer Liege gelagert. Nach einer Ruhephase von 10 Minuten wurde mit der kontinuierlichen, berührungslosen Messung der Perfusion der Mittelfingerspitze der linken Hand begonnen. Nach Erreichen von „steady-state“ Bedingungen wurde bei allen 51 Personen randomisiert der folgende Akupunkturpunkt (a) oder Placebopunkt (b) manuell genadelt (Abb. 2.1.2):

a) Neiguan (KS 6)
   Lokalisation: 2 cun proximal vom Mittelpunkt der Handwurzelquerfalten zwischen den beiden Sehnen des M. flexor carpi radialis und des M. palmaris longus [5].
   Stichtiefe: Schräg 0,2 – 1 cun in proximaler Richtung.
b) Placebopunkt (P)
   Lokalisation: Lateral des Radius 6 cun oberhalb der Handwurzelfalte.

Der gewählte Akupunkturpunkt (KS 6) gilt nach Vorstellungen der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) als Punkt zur Behandlung von Durchblutungsstörungen der oberen Extremität [3].

Die Akupunktur erfolgte nach lokaler Desinfektion der Haut mit sterilen Einmalnadeln (0,30 x 30 mm; Huan Qiu; Suzhou / China), jeweils unter Auslösung eines akupunkturspezifischen De-Qi-Gefühls. Die Nadel wurde nach 10 Minuten wieder vorsichtig entfernt und die Einstichstelle mit einem Tupfer verschlossen. Bei der Nadelung des Placebopunktes wurde in analoger Weise vorgegangen. Das Kriterium, welcher Punkt (a oder b) zuerst genadelt wurde, war randomisiert. In jedem Falle erfolgte die 2. Messung innerhalb eines Intervalls von zwei Stunden bis zu einem Tag nach der ersten Untersuchung.

Bei einer weiteren Versuchsperson (L.A., 25 Jahre) wurde im Rahmen der vorliegenden Studie zusätzlich eine manuelle Stimulation der Nadel durchgeführt. Diese bestand aus einer Kombination von Rotation und Druck- bzw. Zugbewegungen mittlerer Stärke. Es wurde eine tonisierende Technik angewendet. Die Dauer der sanften Stimulationstechnik, welche aus einem Senken und langsamen Heben der Nadel bestand, betrug 10 Sekunden.

Als Beurteilungsparameter für die Quantifizierung von Mikrozirkulationsänderungen im Bereich des Fingers wurden systemspezifische Änderungen der „mittleren Perfusion“ (Mittelwert der ROI (region of interest)) in Volt herangezogen.

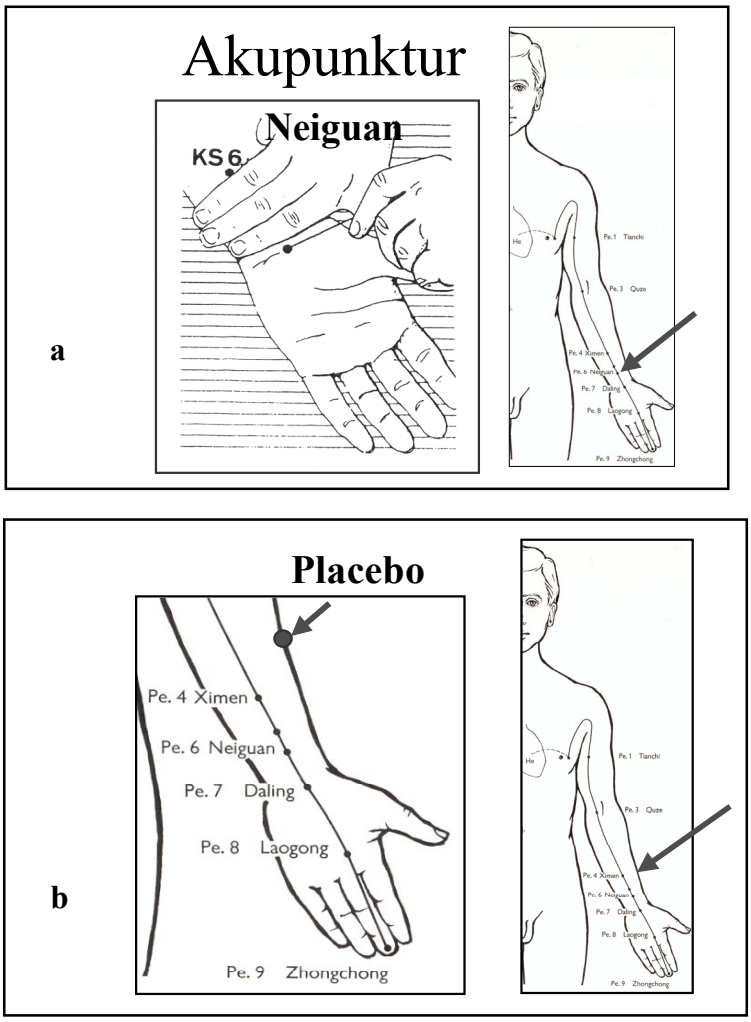


Abb. 2.1.2: Lokalisation des Akupunkturpunktes (a) bzw. des Placebopunktes (b).

Die statistische Analyse erfolgte mit Varianzanalyse (one-way repeated measure ANOVA) mit den Bedingungen vor, unmittelbar nach Setzen und eine Minute nach Setzen der Akupunkturnadel. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,01$ festgelegt. Zur Anwendung gelangte das Computerprogramm SigmaStat (Jandel Scientific Corp., Erkrath, Deutschland).

2.1.3 Ergebnisse

Die Abbildung 2.1.3 (siehe Seite 13) zeigt eine Perfusionsdarstellung der oberen Extremität einer 25 Jahre alten Versuchsperson unter Ruhebedingungen. An jedem Meßpunkt wird die Intensität des zurückgeworfenen Lichts sowie die Konzentration der bewegten Partikel (Blutzellen) im Meßvolumen erfaßt und in einer relativen Einheit angegeben. Das Meßareal ist durch ein am Bildschirm zusätzlich dargestelltes Foto leicht zu positionieren.

In der Abbildung 2.1.4 (siehe Seite 13) ist der relative Vergleich einer durchblutungsändernden Maßnahme (Akupunktur/Placebo) im Bereich der Mittelfingerspitze bei einem 42jährigen Probanden dargestellt. Die Bilder zeigen, daß es unmittelbar nach der Nadelung des Akupunkturpunktes und auch des Placebopunktes zu einem markanten Abfall der Perfusion kommt, daß es jedoch speziell in diesem Fall im Anschluß daran (1 min. nach) nur bei Nadelung des Akupunkturpunktes zu einem deutlichen Anstieg der Durchblutung kommt.

Dieses Verhalten bei Nadelung des Akupunkturpunktes ist in der Abbildung 2.1.5 (siehe Seite 14) nochmals mit einer höheren zeitlichen Auflösung dargestellt.

Die Abbildung 2.1.6 zeigt summarisch die Mittelwerte und einfache Standardfehler der mittleren Perfusion der Mittelfingerspitze der 51 untersuchten Personen vor, unmittelbar nach und 1 Minute nach Setzen der Nadel am Akupunkturpunkt und am Placebopunkt. Unmittelbar nach dem Einstechen der Nadel zeigte sich ein differenzielles Verhalten zwischen Akupunkturpunkt und Placebopunkt. Während beim Akupunkturpunkt die Perfusion statistisch signifikant ($p \leq 0.001$, ANOVA) abnimmt, ist dieses Phänomen beim Placebopunkt nicht in gleichem Ausmaß gegeben. Im Anschluß daran kommt es etwa nach einer Minute in beiden Fällen zu einem signifikanten Anstieg der mittleren Perfusionswerte, welche bei der Nadelung des Akupunkturpunktes höhere Werte erreichen als beim Placebopunkt.

Auffallend ist dabei vor allem die Tatsache, daß der mittlere Perfusionswert bei einer Minute nach Nadelung des Akupunkturpunktes im Durchschnitt um ~ 18 % über dem Ausgangswert (vor Akupunktur) liegt; beim Placebopunkt war dieser Wert niedriger (~ 13 %).

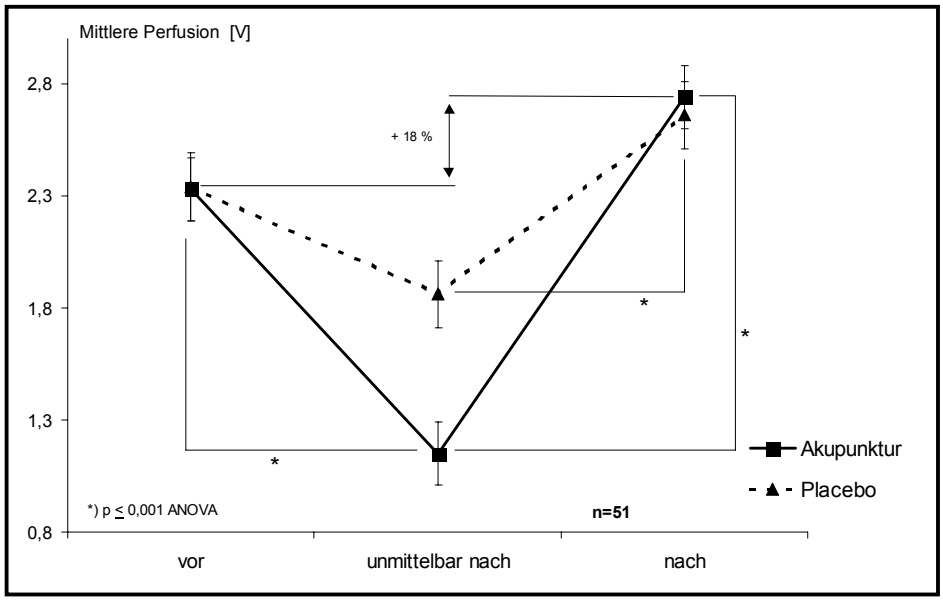


Abb. 2.1.6: Mittelwerte ± Standardfehler der Perfusion [V] von 51 gesunden Probanden vor, unmittelbar nach und eine Minute nach Nadelung eines Akupunktur- (■) und eines Placebopunktes (▲).

Die kontinuierlich (Dauer 20 min) erfaßten Veränderungen der Fingerspitzenperfusion eines 25jährigen Probanden während der Nadelung und der Stimulation des Akupunkturpunktes Neiguan sind in der Abbildung 2.1.7 (siehe Seite 14) visualisiert. Man beachte, daß es während definierter Phasen (Setzen der Nadel, Stimulation und Entfernen der Nadel) zu kurzzeitigen Perfusionsverminderungen kommt, jedoch insgesamt die mittlere Perfusion gegenüber dem Ausgangswert (0 min) nach 20 Minuten deutlich zugenommen hat.

2.1.4 Diskussion

Das Laser Doppler Imaging Verfahren ist eine Methodik, welche sich zur Messung der Konzentration und Geschwindigkeit von bewegten Blutzellen und somit zur Gewebeperfusionsbestimmung in Oberflächengefäßstrukturen eignet. Die Eindringtiefe ist dabei auf ca. 1 mm begrenzt. Derzeit wird dieses Verfahren vorwiegend zum Vergleich durchblutungsändernder Maßnahmen in der Pharmakologie, zur Transplantat- und Lappenüberwachung in der plastischen Chirurgie, und zur Objektivierung und Einteilung von Krankheitsstadien in der angiologischen und dermatologischen Forschung sowie der Anästhesie, Intensiv- und Arbeitsmedizin verwendet. Der mögliche Nutzen dieser Methodik speziell in den einzelnen Fachbereichen wird erst ausgelotet.

Die Vorteile der Methodik liegen im relativ geringen Zeitaufwand, der Nichtinvasivität, der anwenderfreundlichen Bedienung und der Möglichkeit einer kontinuierlichen Registrierung. Als hemmende Faktoren wirkten bislang fehlende Standardisierungen in Verbindung mit einer schwierigen Interpretation der klinischen Daten und relativ hohe Anschaffungskosten des Laser Doppler Flowmetrie bzw. Laser Doppler Imaging Equipments. LDI bietet heute jedoch bereits eine gute Möglichkeit klinische Untersuchungen und Überwachungen an Patienten risikolos durchzuführen, so daß es in naher Zukunft im klinischen Gebrauch sicher weitere Verbreitung finden wird.

Im vorliegenden Kapitel wird erstmals die Brauchbarkeit der LDI-Methode anhand kontinuierlicher Ableitungen während der Akupunktur erläutert.

In der Literatur existieren nur wenige Studien zur Objektivierung der Mikrozirkulation im Zusammenhang mit Akupunktur [1,4]. Diese beruhen in erster Linie auf punktuellen Registrierungen mit der Laser Doppler Flowmetrie.

Sprott u. Mitarb. [15] konnten erst vor kurzem zeigen, daß ein mittels der Laser Doppler Flowmetrie vor Akupunktur gemessener pathologisch verminderter peripherer Blutfluß sich nach einer Akupunkturbehandlung bei Fibromyalgie-Patienten in Richtung Normalisierung änderte. Studien zum Laser Doppler Imaging in Verbindung mit der Akupunktur existieren bislang noch nicht.

Owens u. Mitarb. [14] stimulierten transkutan den Sympathikus im Bereich der Ulna bei gesunden Testpersonen und zeichneten die Hauttemperatur auf. Bei allen Probanden kam es zu einem Anstieg der Hauttemperatur nach

Stimulation. Die Autoren sahen dies als indirektes Zeichen für eine Vasodilatation infolge eines verminderten Sympathikotonus [14, 15].

Basierend auf der Technik der Infrarotthermographie konnte unsere Forschungsgruppe bereits im Rahmen einer Pilotstudie unter standardisierten Bedienungen Effekte peripherer Temperaturänderungen während der Initialphase manueller Akupunktur (Neiguan) objektivieren (siehe Kapitel 2.3) [11,12]. Thermographische Registrierungen wurden herangezogen, um oberflächennah Temperaturänderungen an den Händen von Versuchspersonen zu untersuchen. Ausgangsruhezustand, Setzen und Stimulieren der Akupunkturnadeln wurden in einer Sitzung unter kontrollierten Bedingungen (24 °C Umgebungstemperatur) analysiert. Bei allen Personen zeigte sich eine signifikante ($p = 0,015$), kurzzeitig andauernde Abkühlung der oberflächennahen Hauttemperatur, unmittelbar nachdem die Nadeln gesetzt wurden [11,12]. Dies steht in einem direkten Zusammenhang mit den Ergebnissen, welche im Rahmen der vorliegenden Studie erhoben wurden. Danach führte die Stimulation der Nadeln in der Thermographie-Pilotstudie, welche allerdings nur mit 6 Personen durchgeführt wurde, jedoch zu unterschiedlichen generalisierenden Effekten.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Meßergebnisse zeigen auf, daß die Nadelakupunktur, neben den bekannten Änderungen der Temperatur an der Körperoberfläche, zu objektivierbaren Alterationen mikrozirkulatorischer Parameter führen kann. Durch den Einsatz des LDI-Verfahrens eröffnen sich damit nicht nur im Bereich der Forschung neue Möglichkeiten zur Untersuchung der Mikrozirkulation der Haut, sondern auch im Bereich der Diagnostik und etwaiger Therapiekontrollen im Zusammenhang mit der Akupunktur.

Folgende Schlußfolgerungen können aus den Studiendaten, welche an insgesamt 51 gesunden Probanden erhoben wurden, gezogen werden:

- Die Mikrozirkulation im Bereich der Mittelfingerspitze ändert sich unmittelbar nach manueller Nadelakupunktur des Punktes Neiguan signifikant.
- Akupunkturpunkt und Placebopunkt unterscheiden sich in ihrer primären Antwort signifikant.
- Eine Minute nach Nadelung kommt es zu einem markanten Anstieg der peripheren Perfusion, welcher sich beim Akupunkturpunkt ausgeprägter als beim Placebopunkt manifestierte.

Danksagungen

Die Studie wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (GZ 140.578/3-V/A/6/99) in Österreich unterstützt.

Der Autor dankt Frau Dr. Lu Wang, Frau Evamaria Huber und Frau Mag. Petra Petz (Biomedizinische Technik der Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin Graz), sowie Herrn Prof. Dr. Gert Nilsson (Universität Linköping, Schweden) und Herrn Werner L. Köstler (Gesellschaft für Innovative Medizinprodukte und Dienstleistungen, AD REM TEAM GmbH, Wien, Österreich) für die wertvolle Unterstützung bei der Aufzeichnung und Analyse der Meßdaten.

2.1.5 Literatur

[1] Ballegaard S, Muteki T, Harada H, Ueda N, Tsuda H, Tayama F, Ohishi K (1993) Modulatory effect of acupuncture on the cardiovascular system: a cross-over study. Acupunct Electrother Res 18(2): 103-115

[2] Baumgartner A, Schwarz G, Litscher G, Kehl G, Fuchs G, Pendl G (2001) Laser Doppler flowmetry – experiences in effects of anesthetics and surgical stimulation. Technology and Health Care in press

[3] Bergfeld D, Sommer B (1987) Herz/Kreislauf. In: Kubiena G, Sommer, B (Hrsg) Therapiehandbuch Akupunktur. Gustav Fischer, Ulm Stuttgart Jena Lübeck

[4] Jansen G, Lundeberg T, Kjartansson J, Samuelson UE (1989) Acupuncture and sensory neuropeptides increase cutaneous blood flow in rats. Neurosci Lett 97(3): 305-309

[5] König G, Wancura I (1989) Neue Chinesische Akupunktur. Lehrbuch und Atlas der Akupunkturpunkte. Wilhelm Maudrich, Wien München Bern

[6] Litscher G, Schwarz G, Boggett D (1995) Laser Doppler flowmetry – Peripheral microcirculation during cessation of cerebral and cardiocirculatory function. Biomed Technik 40: 195-199

[7] Litscher G, Schwarz G, Dalageorgos K, Neger J, Kehl G (1996) Laser-Doppler-Flowmetrie – Erfahrungen aus der Intensivmedizin. Biomed Technik 41: 166-169

[8] Litscher G, Schwarz G, Möller KO, Kehl G, Krajca V (2001) Ciruculatory arrest and microcirculation in human adults – data from laser Doppler flowmetry. Technology and Health Care in press

[9] Litscher G, Möller KO, Ratzenhofer-Komenda B, Schwarz G, Koop T, Kovac H (1997) Laser Doppler flowmetry in the hyperbaric environment. Lasers Med Sci 12: 342-346

[10] Litscher G, Möller KO, Stollberger R, Schwarz G, Fuchs G, Baumgartner A, Leber K, Koop T, Ascher PW (1997) Laser-Doppler-Datenanalyse während interstitieller Laserthermotherapie unter Magnetresonanz-Kontrolle im Rahmen einer tierexperimentellen Studie. Biomed Technik 42: 93-96

[11] Litscher G, Wang L (1999) Visualisierung von peripheren Durchblutungsänderungen während der Akupunktur mittels Thermographie. Biomed Technik 44: 129-134

[12] Litscher G, Cho Z H (Eds) (2000) Computer-Controlled Acupuncture®. Pabst Science Publishers, Lengerich Berlin Rom Riga Wien Zagreb

[13] Nilsson G (1999) PIM II Laser Doppler Perfusion Imager User and Software Manual Version 2.1. Lisca AB, Sweden

[14] Owens S, Atkinson ER, Lees DE (1979) Thermographic evidence of reduced sympathetic tone with transcutaneous nerve stimulation. Anesthesiology 50: 62-65

[15] Sprott H, Jeschonneck M, Grohmann G, Hein G (2000) Änderung der Durchblutung über den tender points bei Fibromyalgie-Patienten nach einer Akupunkturtherapie (gemessen mit der Laser-Doppler-Flowmetrie). Wien Klin Wochenschr 112/13: 580-586

Farbabbildungen zu Kapitel 2.1 Laser Doppler Imaging

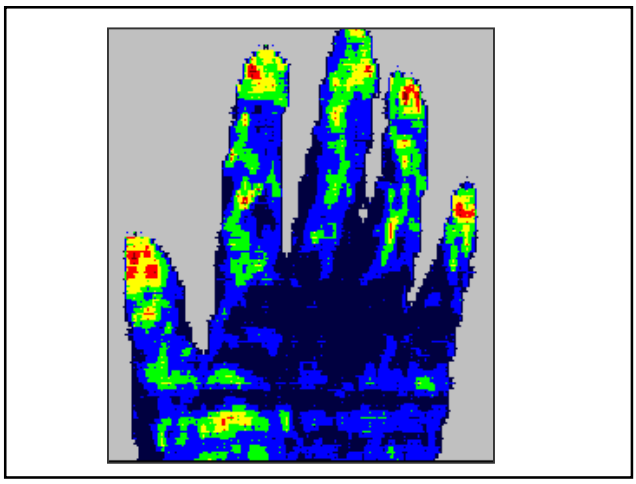


Abb. 2.1.3: „Perfusion Image“ der oberen Extremität einer 25jährigen Versuchsperson (rot/gelb: höchste relative Durchblutung; schwarz/blau: geringste Perfusion).

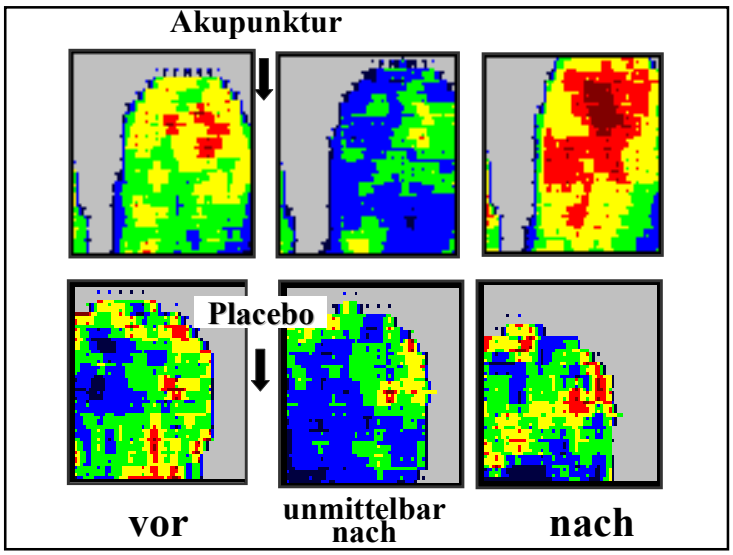


Abb. 2.1.4: Objektivierung des Akupunktur- und Placeboeinflusses auf die primäre Antwort der Mikrozirkulation der Mittelfingerspitze einer 42 Jahre alten männlichen Versuchsperson bei Nadelung eines Akupunkturpunktes (obere Reihe) und eines Placebopunktes (untere Reihe). Man beachte das unterschiedliche Perfusionsverhalten nach einer Minute (Abschnitt rechts).

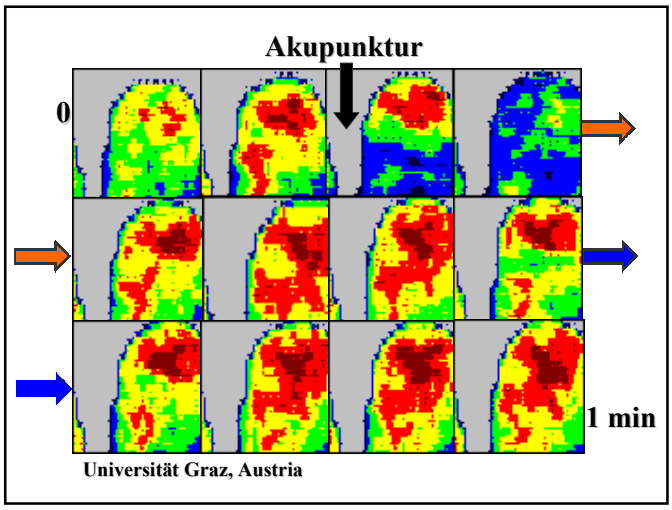


Abb. 2.1.5: Verlauf der initialen (1 Minute) Perfusionsänderung bei einem 42 Jahre alten Probanden nach Nadelung des Akupunkturpunktes Neiguan. Man beachte neben der Perfusionsverminderung unmittelbar nach dem Einstechen der Nadel die sukzessive markante Perfusionszunahme. Die Durchblutungswerte nach einer Minute liegen deutlich über den Ausgangswerten vor der Nadelung.

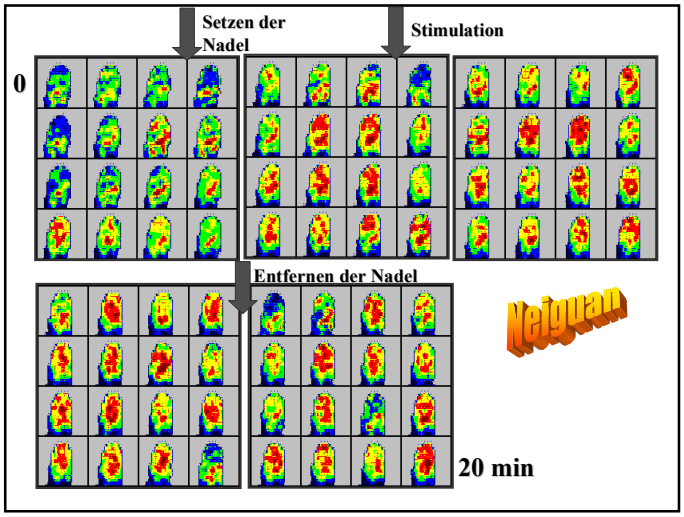


Abb. 2.1.7: Visualisierung der Mittelfingerspitzenperfusion nach Setzen einer Akupunkturnadel am Punkt Neiguan, während Stimulation des Akupunkturpunktes und nach Entfernen der Nadel (Zeitraum: 0 – 20 min) bei einer 25 Jahre alten Versuchsperson.

Farbabbildung zu Kapitel 2.2 Laser Doppler Imaging - Klinische Bedeutung

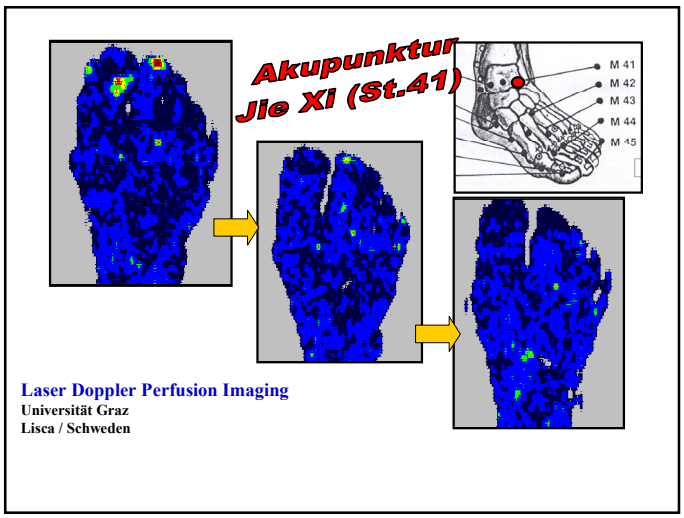


Abb. 2.2.1: „Perfusion Imaging“ der unteren Extremität eines 62jährigen Patienten (rot/gelb/grün/blau: höchste relative Durchblutung; schwarz: geringste Perfusion). Man beachte die Zunahme der mittleren Perfusion (schwarz → blau) in der gesamten ROI (Region of Interest).

Farbabbildungen zu Kapitel 2.3 Thermographie



Abb. 2.3.6: Typisches Beispiel (V2) einer initialen Temperaturabnahme unter Akupunktur bei einer 30jährigen weiblichen Versuchsperson im Verlauf a – d (vgl. Abb. 2.3.5).

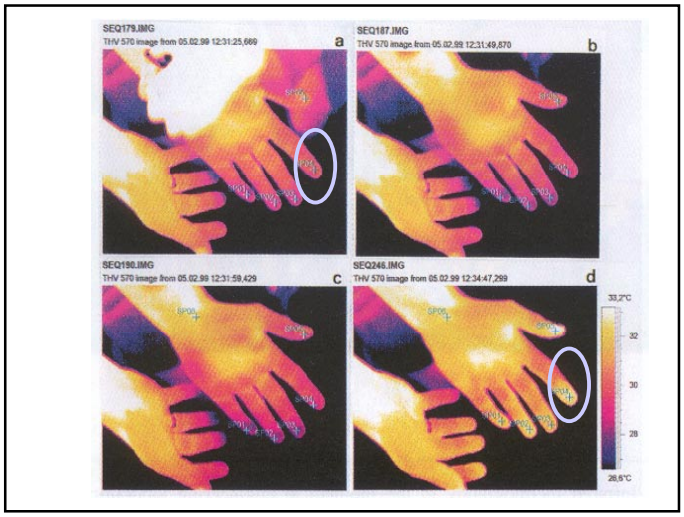


Abb. 2.3.7: Charakteristisches Beispiel (V5) einer signifikanten initialen peripheren Temperaturzunahme unter Akupunktur bei einer 40jährigen männlichen Testperson im Verlauf a – d (vgl. Abb. 2.3.5).

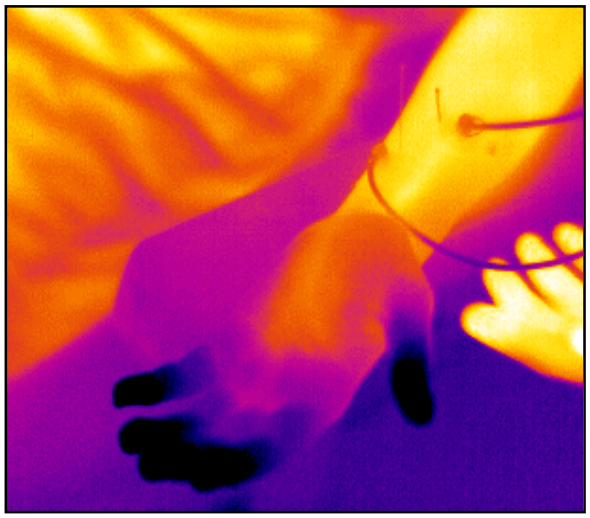


Abb. 2.3.8: Thermographische Aufnahme der Hand einer 30 Jahre alten Patientin mit einem chronischen Kälteschaden. Die Temperatur im Bereich der Fingerspitzen (schwarz) liegt bei 22 °C, jene im Bereich des Handgelenkes bei 37,5 °C.

2.2 Laser Doppler Imaging - Klinische Bedeutung

2.2.1 Einleitung

Bisherige Hauptanwendungsbereiche des Laser Doppler Verfahrens sind in erster Linie Fachbereiche wie beispielsweise Dermatologie, plastische Chirurgie sowie Anästhesiologie und Intensivmedizin [1,7,8,10].

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, erstmals durch Akupunktur hervorgerufene periphere Änderungen der Perfusion im Bereich des Fußes an einem 62 Jahre alten Patienten mit Kryoglobulinämie mit Hilfe des neuen Laser Doppler Imaging (LDI) Verfahrens zu objektivieren und zu quantifizieren.

2.2.2 Methode

2.2.2.1 Akupunktur und Prozedere

Der Patient wurde am Beginn der Untersuchung bequem und entspannt in unserem Forschungslabor auf einer Liege gelagert. Nach einer Ruhephase von 10 Minuten wurde mit der kontinuierlichen, berührungslosen Messung der Perfusion des rechten Fußes begonnen. Nach Erreichen von „steady-state“ Bedingungen wurde bei dem Patienten der folgende Akupunkturpunkt genadelt:

Jie Xi (St.41):

Lokalisation: In der Mitte der Verbindungslinie des lateralen und medialen Malleolus, zwischen den Sehnen des M. extensor hallucis longus und des M. extensor digitorum longus über dem oberen Sprunggelenk.
Stichtiefe: Senkrecht 0,5 cun (siehe Abb. 2.2.1, Seite 15).

Der gewählte Akupunkturpunkt gilt nach Vorstellungen der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) als Punkt zur Behandlung von Durchblutungsstörungen der unteren Extremität, sowie von schmerzhaften Funktionsstörungen des Sprunggelenkes und Vorfußes [5].

Die Akupunktur erfolgte nach lokaler Desinfektion der Haut mit sterilen Einmalnadeln (0,30 x 30 mm; Huan Qiu; Suzhou / China), jeweils unter Auslösung eines akupunkturspezifischen De-Qi-Gefühls. Die Nadel wurde

nach 10 Minuten wieder vorsichtig entfernt und die Einstichstelle mit einem Tupfer verschlossen.

Zusätzlich erfolgten manuelle Stimulationen der Nadel. Diese bestanden aus einer Kombination von Rotation und Druck- bzw. Zugbewegungen mittlerer Stärke. Es wurde eine tonisierende Technik angewendet. Die Dauer der sanften Stimulationstechnik, welche aus einem Senken und langsamen Heben der Nadel bestand, betrug jeweils 10 Sekunden.

Als Beurteilungsparameter für die Quantifizierung von Mikrozirkulationsänderungen im Bereich des Fußes wurden neben der visuellen Bewertung systemspezifische Änderungen der „mittleren Perfusion“ in Volt herangezogen.

2.2.3 Kasuistik

Untersucht wurde ein 62 Jahre alter Patient mit peripherer Durchblutungsstörung bei Kryoglobulinämie vom Typ I. Die Person stand zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht unter medikamentösem Einfluß, wurde über den Ablauf der Untersuchung informiert und gab ihr Einverständnis. Für die Studie wurde die Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Graz eingeholt.

Im Vordergrund der klinischen Symptomatik stand bei dem Patienten eine ausgeprägte periphere Polyneuropathie, die mit durch die Kryoglobulinämie bedingt war. Dabei handelte es sich um eine Paraproteinämie mit Auftreten abnormen Globulins, welches zu erhöhter Blutviskosität, Störungen der Mikrozirkulation und Gefäßwandirritationen führte. Es bestand die Neigung zu vorübergehenden Durchblutungsstörungen. Die Erkrankung ging beim Patienten mit einer starken Kälteüberempfindlichkeit besonders im rechten Bein einher.

In der Abbildung 2.2.1 (Farbabbildung siehe Seite 15) sind die Ergebnisse einer Registrierung mit dem LDI-Verfahren vor (links), während (Mitte), und nach (rechts) einer manuellen Nadelakupunktur am Punkt Jie Xi (St.41) dargestellt. Man beachte die durch die Akupunktur bedingte durchschnittliche Zunahme des mittleren Perfusionswertes von 0,51 V auf 0,85 V während der Akupunktur. Gleichzeitig zeigt sich eine Abnahme zweier „Spots“ im Bereich der ersten und zweiten Zehe. Die mittlere Perfusion 2 Minuten nach Entfernung der Nadel war jedoch gegenüber dem Ausgangswert vor Akupunktur deutlich erhöht (+ 76%).

2.2.4 Diskussion

Unter Kryoglobulinämie versteht man eine Multisystemerkrankung, deren pathologisches Charakteristikum in der Ablagerung von zirkulierenden Immunkomplexen in kleinen und mittleren Blutgefäßen besteht [2,4,11]. Dies kann zu Symptomen wie z.B. Raynaud-Syndrom und auch zu peripherer Neuropathie führen. Die Diagnose beruht auf dem Nachweis von sogenannten Kryoglobulinen, das sind Immunglobuline vom Isotyp IgG, IgM (Typ I) oder beiden, die bei niedrigen Temperaturen präzipitieren. Behandlungsstudien haben gezeigt, daß es z.B. unter alfa-Interferon zu einer Verbesserung der klinischen, virologischen und der biochemischen Parameter kommen kann. Die ideale Therapie muß jedoch erst gefunden werden [3].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten wir mit Hilfe eines neuen medizintechnischen Verfahrens, dem Laser Doppler Perfusion Imaging, Veränderungen der Mikrozirkulation bei einem Patienten mit Kryoglobulinämie. Bislang existieren in der Literatur nur einige wenige Arbeiten zu dieser Thematik. So führten z.B. Speight und Lawrence [12] mit Hilfe eines Laser Doppler Flowmeters an 5 Einzelstellen mikrozirkulatorische Untersuchungen bei 2 Patienten mit einem ähnlichen Krankheitsbild durch.

In der Literatur gibt es aber auch insgesamt nur wenige Studien zur Objektivierung der Mikrozirkulation im Zusammenhang mit Akupunktur [6,13]. Diese beruhen in erster Linie auf punktuellen Registrierungen mit der Laser Doppler Flowmetrie.

Sprott u. Mitarb. [13] konnten erst vor kurzem zeigen, daß ein mittels der Laser Doppler Flowmetrie vor Akupunktur gemessener pathologisch verminderter peripherer Blutfluß sich nach einer Akupunkturbehandlung bei Fibromyalgie-Patienten in Richtung Normalisierung änderte. Studien zum Laser Doppler Imaging in Verbindung mit der Akupunktur gibt es bis auf eine von unserer Arbeitsgruppe eingereichte Publikation noch nicht [9].

Die im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Meßergebnisse zeigen auf, daß die Nadelakupunktur, im Einzelfall zu objektivierbaren Alterationen mikrozirkulatorischer Parameter führen kann. Durch den Einsatz des LDI-Verfahrens eröffnen sich damit neue biomedizintechnische Möglichkeiten zur Untersuchung der Mikrozirkulation auch im Bereich der Diagnostik und etwaiger Therapiekontrollen im Zusammenhang mit der Akupunktur.

Danksagungen

Die Studie wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (GZ 140.578/3-V/A/6/99) in Österreich unterstützt.

Der Dank gilt Frau Dr. Lu Wang, Frau Evamaria Huber und Frau Mag. Petra Petz (Biomedizinische Technik der Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin Graz), sowie Herrn Prof. Dr. Gert Nilsson (Universität Linköpping, Schweden) und Herrn Werner L. Köstler (Gesellschaft für Innovative Medizinprodukte und Dienstleistungen, AD REM TEAM GmbH, Wien, Österreich) für die wertvolle Unterstützung bei der Aufzeichnung und Analyse der Meßdaten.

2.2.5 Literatur

[1] Baumgartner A, Schwarz G, Litscher G, Kehl G, Fuchs G, Pendl G (2001) Laser Doppler flowmetry – experiences in effects of anesthetics and surgical stimulation. Technology and Health Care, in press

[2] Cirasino L, Barbano PR (1999) Images in clinical medicine. Gangrene and type I cryoglobulinemia in multiple myeloma. N Engl J Med 341(21): 1582

[3] Ellie E, Vital A, Steck A, Boiron JM, Vital C, Julien J (1996) Neuropahty associated with „benign“ anit-myelin associated glycoprotein IgM gammapathy: clinical, immunological, neurophysiological, pathological findings and response to treatment in 33 cases. J Neurol 243: 34-43

[4] Griffiths TA, Daniel CJ, Harris EJ (1996) Bilateral forefoot ischemia as a premonitory symptom of mixed cryoglobulinemia. J Foot Ankle Surg 35(3): 213-217

[5] Hecker U, Steveling A, Penker E, Kastner J (2001) Lehrbuch und Repetitorium Akupunktur. Hippokrates, Stuttgart

[6] Jansen G, Lundeberg T, Kjartansson J, Samuelson UE (1989) Acupuncture and sensory neuropeptides increase cutaneous blood flow in rats. Neurosci Lett 97(3): 305-309

[7] Litscher G, Schwarz G, Dalageorgos K, Neger J, Kehl G (1996) Laser-Doppler-Flowmetrie – Erfahrungen aus der Intensivmedizin. Biomed Technik 41: 166-169

[8] Litscher G, Schwarz G, Möller KO, Kehl G, Krajca V (2001) Ciruculatory arrest and microcirculation in human adults – data from laser Doppler flowmetry. Technology and Health Care, in press

[9] Litscher G, Wang L, Huber E, Nilsson G (2001) Laser Doppler Imaging and Acupuncture – Preliminary Results. Microvasc Res, subm

[10] Nilsson G (1999) PIM II Laser Doppler Perfusion Imager. User and Software Manual Version 2.1. Lisca AB, Sweden

[11] Sanmugarajah J, Hussain S, Schwartz JM, Friedman S (2000) Monoclonal cryoglobulinemia with extensive gangrene of all four extremities – a case report. Angiology 51(5): 431-434

[12] Speight EL, Lawrence CM (1993) Reticulate purpura, cryoglobulineamia and livedo reticualris. Br J Dermatol 129(3): 319-323

[13] Sprott H, Jeschonneck M, Grohmann G, Hein G (2000) Änderung der Durchblutung über den tender points bei Fibromyalgie-Patienten nach einer Akupunkturtherapie (gemessen mit der Laser-Doppler-Flowmetrie). Wien Klin Wochenschr 112/13: 580-586

2.3 Thermographie

2.3.1 Einleitung

Die Temperaturmessung mittels einer Infrarotkamera (Thermographie) stellt ein Meßverfahren dar, welches im Rahmen der Akupunktur bislang in nur geringem Ausmaß eingesetzt wurde [1, 11-14]. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens liegt in der optischen und somit berührungslosen Datenerfassung und in der Aufnahme von Temperaturverteilungen mit hoher örtlicher Auflösung.

Zur Validierung des neuen Verfahrens wurden Untersuchungen an Händen von Probanden vor und innerhalb der Initialphase einer Akupunktur durchgeführt. Die Abbildung 2.3.1 zeigt den Meßaufbau, einen Teil des Prozederes und Beispiele thermographischer Resultate der Messungen unter Akupunktur.

2.3.2 Methode

2.3.2.1 Computergestütztes Wärmevisualisierungssystem

Das Thermographiesystem bestand aus einer AGEMA 570 PRO Infrarotkamera (Flir Systems Inc., Portland, USA) in Verbindung mit einem computergestützten Wärmevisualisierungssystem für Echtzeit Bildaufzeichnung und Auswertung (Tracer Plus, Flir Systems Inc., Portland, USA).

Die Kamera ist ein wartungsfreies ungekühlt und kontinuierlich meßfähiges Infrarotequipment. Der Spektralbereich der Kamera liegt zwischen 7,5 und 14 µm. Der Temperaturmeßbereich des Gerätes reicht von – 20 bis + 500 °C und kann mit Hilfe von Filtern noch ausgedehnt werden. Die Betriebsbereitschaft ist normalerweise in einer halben Minute erreicht und das Gewicht beträgt einschließlich der internen Batterie 2,3 kg.

Die Infrarotkamera (Entfernung zur Hand ~ 0,5 m) wurde über eine Schnittstelle an einen PC angeschlossen. Für die gegenständlichen Untersuchungen wurden insgesamt 10 Minuten pro Versuchsperson mit einer zeitlichen Auflösung von 3 Sekunden erfaßt und analysiert. Die gemessenen Temperaturen wurden auf einem Display farbkodiert angezeigt, so daß Farbbilder der Temperaturverteilung entstanden.



Abb. 2.3.1: Infrarotthermographie im biomedizintechnischen Labor des Universitätsklinikums Graz. Man beachte den Temperaturunterschied der beiden Hände nach Nadelung spezieller Akupunkturpunkte.

2.3.2.2 Probanden

Untersucht wurden in dieser Pilotstudie 6 gesunde Versuchspersonen mit einem mittleren Alter von 33,3 $\pm$ 7,5 Jahren. Drei Personen waren weiblichen, 3 männlichen Geschlechts. Die Probanden wurden im biomedizintechnischen Labor der Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin Graz bequem auf eine Liege gelagert. Die Raumtemperatur (24 °C) und Feuchte wurden im gesamten Labor während der Meßphase konstant gehalten. Eine Phase von 10 Minuten Ruhezeit wurde bei jedem Probanden vor Applikation der Akupunkturnadel eingehalten, damit sich die Hauttemperatur der Personen stabilisierte. Die Abbildung 2.3.2 zeigt schematisch das Meßprofil der Untersuchung. Alle Probanden wurden über das Prozedere der Untersuchung genauestens aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis.

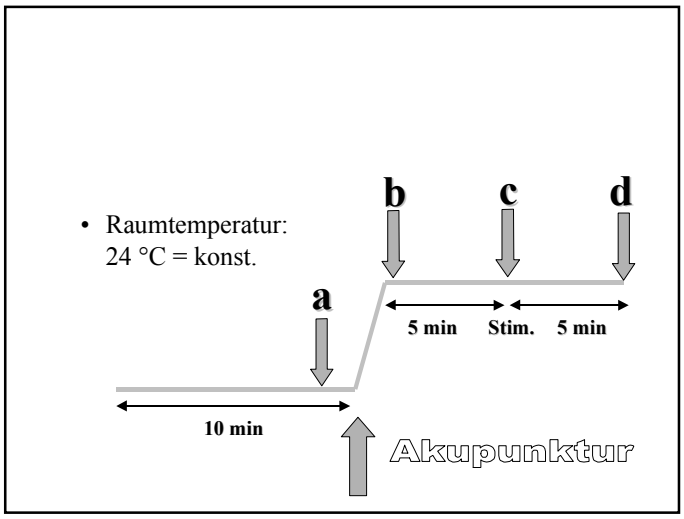


Abb. 2.3.2: Meßprofil.

2.3.2.3 Akupunktur

Bei allen Personen wurden zwei Akupunkturpunkte am linken Unterarm gewählt (Abb. 2.3.3):

KS 6 (Neiguan)
Lokalisation: 2 cun (3 Querfinger) proximal der Mitte der palmaren Handgelenksfurche zwischen den Sehnen der Mm. flexor carpi radialis und palmaris longus.

Stichtiefe: 0,2 – 1 cun

Di 11 (Quchi)
Lokalisation: Bei maximal gebeugtem Arm am radialen Ende der Ellenbogenfalte.
Stichtiefe: 1 – 2 cun

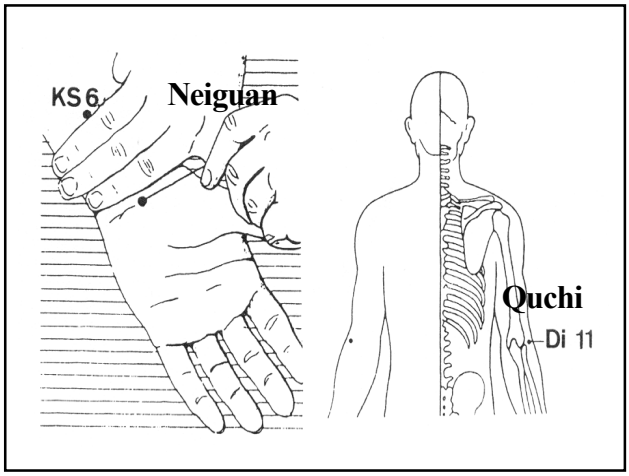


Abb. 2.3.3: Auswahl der Akupunkturpunkte für das vorliegende Studiendesign (modifiziert nach [3]).

Im Sinne der Traditionellen Chinesischen Medizin wirken diese Punkte in Kombination allgemein energiesteigernd und werden bei Durchblutungsstörungen der oberen Extremitäten eingesetzt [3]. Die beiden Punkte wurden nach lokaler Hautdesinfektion mit sterilen Einmalnadeln (0,3x30 mm, Huan Qiu; Suzhou, China) jeweils unter Auslösung des akupunkturspezifischen De-Qi-Gefühls gestochen.

Die Stimulation bestand aus einer Kombination von Rotation und Druck bzw. Zugbewegungen mittlerer Stärke. Es wurde eine tonisierende Technik angewendet. Die Dauer der Stimulation betrug für jeden Punkt 20 Sekunden.

2.3.3 Ergebnisse

Die Resultate der Temperaturmessungen der 6 Probanden sind in der Tabelle 2.3.1 und der Abbildung 2.3.4 zusammengefaßt.

	SP01	SP02	SP03	SP04	SP05	SP06
a	29,9±2,8	30,0±2,8	29,7±3,6	30,4±3,2	31,2±2,2	33,1±1,0
b	29,3±2,8	29,5±2,6	29,4±3,1	29,7±2,9	30,6±1,9	33,1±0,9
c	29,3±3,0	29,6±2,9	29,5±3,2	29,8±3,1	30,6±2,3	32,9±0,9
d	29,4±3,4	29,7±3,1	29,8±3,5	30,3±3,3	31,2±2,3	32,9±0,7

Tab. 2.3.1: Temperaturänderungen (Mittelwerte ± einfache Standardabweichungen) in einzelnen Fingern (SP01 bis SP05) und an einer Meßstelle im Bereich des Handgelenks (SP06) unmittelbar vor (a), 20 Sekunden nach Setzen der Nadel (b), unmittelbar nach Stimulation (c) und 5 Minuten nach Stimulation (d).

Die Abbildung 2.3.4 dokumentiert summarisch das Temperaturverhalten im Bereich des ersten Endgliedes des kleinen Finger (SP01) bei den 6 Versuchspersonen. Es ergab sich ein signifikanter ($p = 0{,}015$; verk. t-Test) Abfall der Temperatur 20 Sekunden (b) nach Setzen der Nadeln gegenüber dem Ausgangsruhezustand (a). Danach kam es dann bei den einzelnen Versuchspersonen zu unterschiedlichen Effekten hinsichtlich der Temperaturänderungen an dieser Meßstelle (vgl. Abb. 2.3.5).

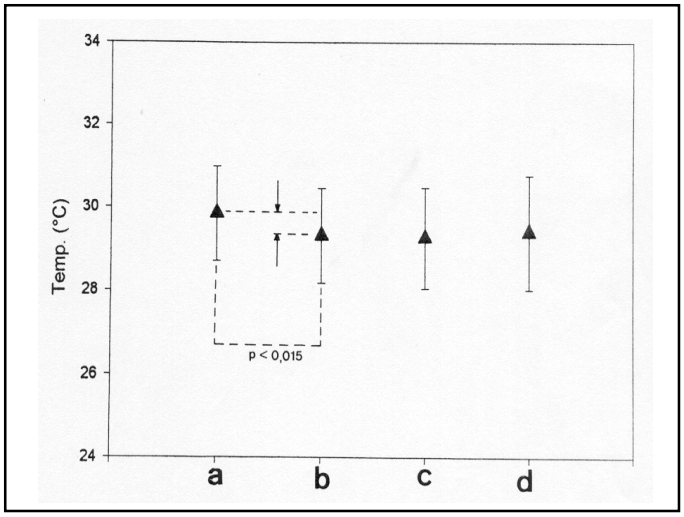


Abb. 2.3.4: Mittlere Temperaturen (± einfache Standardabweichungen) im Bereich des kleinen Fingers bei 6 Versuchspersonen unmittelbar vor (a), 20 Sekunden nach Setzen der Nadeln (b), unmittelbar nach Stimulation (c) und fünf Minuten nach Stimulation (d).

Als eine Vergleichstemperaturmeßstelle diente der Punkt SP06 im Bereich des Handgelenkes, wo sich diese Signifikanz nicht zeigte. Die Einzelwerte des Meßpunktes SP01 (kleiner Finger) von allen Versuchspersonen (V1 – V6) sind in Abbildung 2.3.5 graphisch repräsentiert. Man erkennt dabei, daß es bei 3 Probanden (1 Frau, 2 Männer) entweder bereits unmittelbar nach der Phase der Stimulation (V6, c) oder ~ 5 Minuten nach Stimulation der Nadeln (V3 und V5, d) zu einem zum Teil markanten Anstieg der Temperatur im Bereich des kleinen Fingers kommt (ausgezogene Linien in Abb. 2.3.5). Drei weitere Versuchspersonen zeigten konträres Verhalten hinsichtlich der Temperaturänderung nach Nadelung (gestrichelte Linien in Abb. 2.3.5).

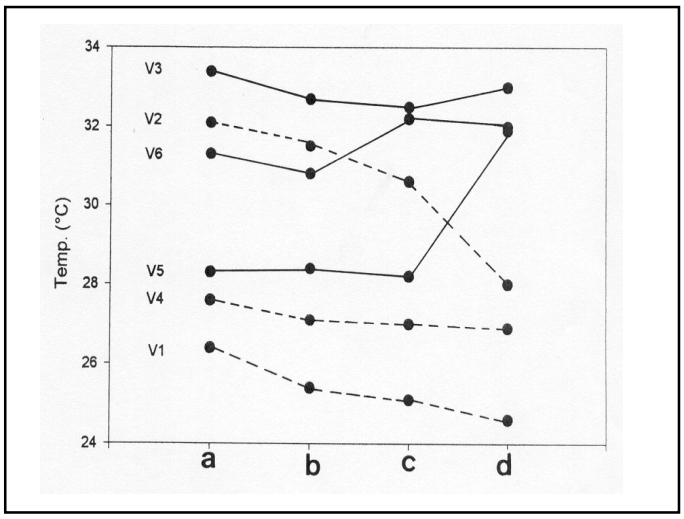


Abb. 2.3.5: Einzeltemperaturwerte des kleinen Fingers von 6 Versuchspersonen (V1-V6) unter den Bedingungen a – d (vgl. Abb. 2.3.4).

In den Abbildungen 2.3.6 und 2.3.7 (Farbabbildungen siehe Seite 15 und 16) werden zwei typische Beispiele demonstriert. Die Abbildung 2.3.6 zeigt die Ergebnisse einer weiblichen Versuchsperson (V2). Man kann deutlich die Abnahme der Temperatur im Bereich der Finger und Handinnenfläche während der Akupunktur erkennen. In der Abbildung 2.3.7 hingegen ist die Visualisierung der Durchblutungsänderung einer 40 Jahre alten männlichen Testperson dargestellt. Interessant ist neben der markanten Temperaturzunahme (> 2 °C) im Bereich der gesamten Hand und speziell auch der Finger die Tatsache, daß es auch im Bereich der kontralateral zur Stimulation befindlichen Hand (untere Hand in Abb. 2.3.7) zu einer, wenn auch nicht im selben Ausmaß ausgeprägten, Temperaturzunahme kommt. Letztere erreicht ~ 5 Minuten nach Stimulation ein Maximum der Ausprägung.

2.3.4 Diskussion

Die Thermographie ist ein Verfahren, welches in der biomedizinischen Technik auch zur Visualisierung von Hauttemperaturverteilungen eingesetzt werden kann. Sie ermöglicht Messungen bei hoher örtlicher Auflösung. Wesentlicher Vorteil gegenüber alternativen medizintechnischen Verfahren (z.B. Registrierung von Temperaturänderungen über Thermistoren) ist die berührungslose Messung. Das Meßergebnis wird nicht durch Anschlußkabel oder Sensoren verfälscht. Die passive Untersuchungsmethode, d.h. es wird keine Energie in den Körper eingekoppelt, ist völlig unschädlich, beliebig oft und lange durchführbar und wird daher auch bei Säuglingen angewendet [2].

Dynamische Änderungen der Temperaturverteilung, wie sie während einer Akupunktur auftreten können, sind gut und zuverlässig registrierbar. Orte geringer Wärmeproduktion oder Durchblutung werden auf den errechneten Bildern deutlich kühler dargestellt als gut durchblutete Hautbereiche (vgl. Abb. 2.3.8, Seite 16). Ein wichtiger Einflußfaktor ist der Emissionskoeffizient der Haut, der bei den vorliegenden Messungen 0,97 betrug. Dieser Faktor hängt von der Strahlungsrichtung ab. Aus diesem Grund wurden Randzonen deutlich kühler dargestellt. Diese Verfälschung des Meßergebnisses durch die Geometrie muß bei der Interpretation berücksichtigt werden. Fehler sind aber auch durch falsche Angaben von Emissionskoeffizienten der Haut möglich, weil z.B. Fettcremen zu einer deutlichen Reduktion des Emissionskoeffizienten führen. Bei den vorliegenden Messungen wurde bewußt auf eine Auflagefläche im Meßbereich der Hand verzichtet, da auch diese als Zwischen- bzw. Hintergrundmedium einen wesentlichen Störfaktor darstellen kann [2].

Im Rahmen von Akupunkturforschungsstudien spielen neben zentralen Effekten [4-10] auch periphere Durchblutungsänderungen [1,11-14] eine wesentliche Rolle. Letztere können nun mit Hilfe der Thermographie sichtbar gemacht werden. Die im Rahmen der erwähnten Studien durchgeführte Untersuchungen haben das Ziel die alte chinesische Heilmethode zu objektivieren und zu entmystifizieren. Potentielle Nachweise der Akupunktureffekte sind dadurch nicht mehr ausschließlich auf das subjektive Empfinden der Probanden bzw. Patienten gebunden, sondern können auch apparativ erfaßt und objektivierbar gemacht werden.

Danksagung

Wir danken Herrn Reder (Retronic-Instruments Ges.m.b.H., Berndorf, Austria) für die wertvolle Hilfe bei der Datenerfassung und –analyse im Rahmen dieser Studie.

2.3.5 Literatur

[1] Ernst M, Lee MH (1995) Sympathetic vasomotor changes induced by manual and electrical acupuncture of the Hoku point visualized by thermography. Pain 21(1): 25-33

[2] Frankenberger RT, Bussmann O, Nahm W, Konecny E, Gortner L (1998): Messung seitlicher Hauttemperaturprofile von Frühgeborenen in Inkubatoren mittels Thermographie. Biomed Technik 43: 174-178

[3] Kubiena G, Sommer B (Hrsg) (1997) Therapiehandbuch Akupunktur. Gustav Fischer, Ulm Stuttgart Jena Lübeck

[4] Litscher G, Schwarz G, Sandner-Kiesling A, Hadolt I, Eger E (1998) Effects of acupuncuture on the oxygenation of cerebral tissue. Neurol Res 20(1): 28-32

[5] Litscher G, Schwarz G, Sandner-Kiesling A, Hadolt I (1998) Robotic transcranial Doppler sonography probes and acupuncture. Int J Neurosci 95: 1-15

[6] Litscher G, Schwarz G, Sandner-Kiesling A, Hadolt I (1997) Transkranielle Doppler-Sonographie - Robotergesteuerte Sonden zur Quantifizierung des Einflusses der Akupunktur. Biomed Technik 42: 116-122

[7] Litscher G, Schwarz G, Sandner-Kiesling A (1998) Computerkontrollierte Akupunktur. Akupunktur Theorie und Praxis 26(3): 133-142

[8] Litscher G, Yang NH, Schwarz G, Wang L (1999) Computerkontrollierte Akupunktur: Eine neue Konstruktion zur simultanen und kontinuierlichen Erfassung der Blutflußgeschwindigkeit in der A. supratrochlearis und A. cerebri media. Biomed Technik 44: 58 - 63

[9] Litscher G, Wang L, Yang NH, Schwarz G (1999) Ultrasound-monitored effects of acupuncture on brain and eye. Neurol Res 21: 373 - 377

[10] Litscher G, Yang NH, Wang L (1998) Ultrasound-controlled acupuncture. Internet J Anesthesiology 2/4
http://www.ispub.com/journals/IJA/Vol2N4/acu.htm

[11] Liu R, Zhuang D, Yang X, Li Y, Zhang D, Wen B, Zhang R (1990) Objective display on phenomena of propagated sensation along channels (PSC) – changes on the infrared thermal image channels pathway of upper extremity. Chen-Tzu-Yen-Chiu Akup Res 15(3): 239-244

[12] Peshko AA (1992) Laser puncture in the treatment of diabetic angiopathies of the lower extremities. Lik-Sprava 10: 82-84

[13] White AR, Abbot NC, Ernst E (1998) Skin blood-flow response to acupuncture. Perfusion 11(2): 57

[14] Zhang D, Gao H, Wei Z, Wen B (1992) Preliminary observation of imaging of facial temperature along meridians. Chen-Tzu-Yen-Chiu Akup Res 17(1): 71-74