

Eine neue Sensortechnik zur Messung von elektrischen Potentialprofilen der menschlichen Haut an Akupunkturpunkten

Bernhard Wiegele^a Gabriel Schober^b Johannes Kuder^c Florian P. Kolb^d Dominik Irnich^b^aFachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Augsburg,^bInterdisziplinäre Schmerzambulanz Innenstadt, Klinik für Anaesthesiologie, Ludwig-Maximilians-Universität München,^cFa. Kuder Industrie Dienstleistungen, Friedberg,^dInstitut für Physiologie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland

Schlüsselwörter

Akupunktur · Akupunkturpunkt · Hautwiderstand · Elektrische Potentiale · Impedanz

Zusammenfassung

Einleitung: Elektrophysiologisch stellt sich die menschliche Haut inhomogen dar: an bestimmten Arealen findet sich eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit. In der Vergangenheit wurde wiederholt postuliert, dass die entsprechenden Areale mit Akupunkturpunkten korrelieren. Aus dieser Hypothese entwickelte Detektoren für Akupunkturpunkte nutzen dieses Phänomen zur Diagnostik und Therapie im Rahmen der Akupunkturbehandlung. Nach Analyse zeigen die Messmethoden aber eine erhebliche Störanfälligkeit gegenüber Fehlerquellen wie Anpressdruck, Anpresswinkel, Hautfeuchte, Messdauer, Dicke des Stratum corneum der Haut oder externen elektrischen Störgrößen. Somit kann eine grosse Messgenauigkeit angenommen werden. Systematische, kontrollierte Messungen unter Beachtung aller Einflussgrößen und in einem standardisierten und in Bezug auf den Untersucher verblindeten Versuchsansatz liegen nicht vor. **Material und Methoden:** In der vorliegenden Arbeit wird eine neue Messmethodik vorgestellt, welche eine genaue räumliche und zeitliche Darstellung von elektrischen Potentialen an der Haut ermöglicht. Sie besteht aus einem Elektrodenfeld (Messarray), von dem es zwei Versionen, eine mit 32 Elektroden im Abstand von 0,65 mm auf einer Fläche 3,5 × 3,5 mm² und eine mit 64 Elektroden im Abstand von 8 mm auf einer Fläche von 60 × 60 mm² gibt. Die kurze Messzeit von 1 s erlaubt den unmittelbaren Vergleich von benachbarten Strukturen. Ein gleichförmiger Anpressdruck wird durch federnde Auflage oder durch die Nutzung eines Luftkissens gesichert. **Schlussfolgerungen:** Erste Ergebnisse geben Hinweise, dass reliable und valide Messungen von unterschiedlichen Leitfähigkeiten der Haut mit dieser Versuchsanordnung möglich sind. Die neue Sensortechnik mit den hier vorgestellten ersten Messergebnissen, bietet eine gute Ausgangsbasis für die notwendigen systematischen, kontrollierten Untersuchungen von Hautwiderständen an Akupunkturpunkten im Vergleich mit umgebenden Arealen.

Key Words

Acupuncture · Acupuncture points · Skin resistance · Electrical potential · Impedance

Summary

A New Device for Measurements of Electrical Skin Resistance at Acupuncture Points in Humans

Introduction: From an electro-physiological point of view human skin shows an inhomogeneous pattern regarding its electrical resistance: in certain areas a decreased electrical resistance can be observed. It has been postulated that these areas correspond to acupuncture points. Subsequently, devices have been developed as detectors for acupuncture points which are used for diagnosis and treatment in acupuncture. However, most of these devices are inconsistent: they show a remarkable inaccuracy in their measurements and are poorly evaluated. Further analyses have shown that the measuring pens often used are subject to various disturbances such as pressure, angle of measurement, humidity of the skin, different thickness of stratum corneum of the skin and external disturbances such as temperature and humidity in the measuring room. **Material and Methods:** We present a new device for standardized measuring of electrical skin resistance. It consists of a field of 64 electrodes (measuring array) on a surface of 60 x 60 mm² and a distance of 8 mm between electrodes. For a more precise spatial resolution a field of 32 electrodes on a surface of 3.5 x 3.5 mm² with a distance of 0.65 mm is available. A high, precise, temporal resolution of electric potentials in human skin is realized by fast scanning of the electrodes. Technical details are described. **Conclusions:** First analyses of collected data show that reliable and valid measurements are possible. Using this device in a controlled and blinded study design will help elucidate the issue of altered skin resistance at acupuncture points and clarify if this phenomenon is unique at acupuncture points.

Einleitung

Seit der Mitte des letzten Jahrhunderts wird versucht, durch Messungen von elektrischen Strömen im Bereich von Akupunkturpunkten oder Meridianen (Leitbahnen) ein funktionelles elektrophysiologisches Korrelat zu Akupunkturpunkten und Leitbahnen zu finden. Es kann als gesichert angesehen werden, dass auf der Haut elektrische Hautwiderstandsunterschiede zu finden sind. So wird bereits 1927 von unterschiedlicher Leitfähigkeit der Haut für Gleichstrom in der Nähe von «Nervenpunkten» berichtet [1]. Eine wissenschaftliche Herausforderung stellt dagegen der Versuch dar, die messbar unterschiedlichen Hautwiderstände mit Akupunkturpunkten zu korrelieren.

Bereits vor mehr als 5 Jahrzehnten haben Arbeitsgruppen um Voll [2], Nakatani [3] und Niboyet [4] postuliert, dass Gebiete mit geringem Hautwiderstand und guter Leitfähigkeit eine Übereinstimmung mit Akupunkturpunkten haben. Gleichwohl finden sich in der Literatur Kritikpunkte zur Messmethodik und zur mangelnden Vergleichbarkeit der eingesetzten Verfahren [5].

Es folgten weitere Untersuchungen [7–13], die sich zum Teil erheblich in ihren eingesetzten Messapparaturen unterscheiden. So wird neben Gleichstrom auch Wechselstrom mit einer grossen Bandbreite unterschiedlicher Frequenzen eingesetzt, die Spannung und die Höhe der verwendeten Ströme ist nicht vergleichbar, oder die Messelektroden variieren in Grösse, Material und Anzahl.

Des Weiteren zeigen die Messmethoden eine erhebliche Fehleranfälligkeit gegenüber unterschiedlichen Werten von Anpressdruck, Anpresswinkel, Hautfeuchte, Messdauer oder externen elektrischen Störgrössen [5, 11, 14]. Ein besonderes Problem stellt die Messung mittels Messgriffel dar. Neben Einflüssen durch unterschiedliche Messwinkel können Messungen mit dem Messgriffel fehlerhaft sein, wenn an der erwarteten Stelle mehrfach gerieben wird und es dort auf diese Weise zu einem Abrieb des Stratum corneum der Haut kommt. Auch erhöhter Anpressdruck an erwarteten Stellen, z.B. an Akupunkturpunkten, kann zu falsch positiven Messungen führen. Somit könnten die beschriebenen Änderungen des elektrischen Hautwiderstandes in diesen Messungen untersucherbedingt sein.

Hieraus ist zu folgern, dass auch Widerstandsmessgeräte, welche zur Detektion von Akupunkturpunkten sehr verbreitet eingesetzt werden, den genannten Störgrössen unterliegen und damit aus wissenschaftlich-technischer Sicht nur bedingt valide und reliable Ergebnisse liefern können.

Aufgrund der genannten methodischen Mängel der meisten Untersuchungen kann die Hypothese, dass an Akupunkturpunkten erniedrigte elektrische Hautwiderstände auftreten, als nicht gesichert angesehen werden. Insbesondere die Frage der Spezifität des Phänomens an Akupunkturpunkten scheint ungeklärt. Forschungen auf diesem Gebiet können nicht nur Auswirkungen auf die praktische Anwendung der Akupunk-

tur und akupunkturbezogener Diagnosehilfen haben, sondern auch zu einem besseren Verständnis der Besonderheiten von Akupunkturpunkten beitragen. Voraussetzung für systematische Messungen des Phänomens ist dabei die bestmögliche Ausschaltung von subjektiven und untersucherbedingten Störeinflüssen. Durch Nutzung einer speziellen Messvorrichtung konnten wir in eigenen Untersuchungen zeigen, dass – unter konstantem Druck und Messwinkel – die Messelektroden reliable Ergebnisse liefern [14]. Ein ähnlich funktionierendes Messsystem zeigte in Untersuchungen von Colbert et al. eine gleichfalls gute Reliabilität von $r = 0,758$ [11].

Wir werden hier eine neue Messmethodik vorstellen, die zum einen die am besten etablierte elektrische Funktionsweise nachempfunden. Die wesentlichen Schwachpunkte der Messgriffel, wie sie oben erwähnt sind, werden aber in unserem System durch ein neuartiges Elektrodenfeld (Messarray) abgeschwächt. Durch den Einsatz von mehreren Elektroden versprechen wir uns eine sehr gute räumliche und zeitnahe Darstellung von Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit an der menschlichen Haut. In dieser Arbeit werden die neue Methodik und einige explorative Messungen vorgestellt, in der Diskussion werden zukünftige Einsatzmöglichkeiten und Grenzen erörtert. Ziel der Untersuchungen ist die objektive Darstellung von elektrischen Phänomenen an Akupunkturpunkten.

Material und Methoden

Schaltskizze

Mit der hier vorgestellten Messtechnik wird prinzipiell die elektrische Leitfähigkeit ($\sim 1/\text{Widerstand}$) eines Organismus ermittelt, wobei der grösste Anteil des Widerstandes der Haut zugeschrieben werden kann. Über eine Stromquelle fliesst zwischen einer grossflächigen Referenz-(Hand-)Elektrode und einer punktförmigen Prüf-Messspitze ein kleiner Messstrom in der Grössenordnung von $I_{\text{Mess}} \approx 10 \mu\text{A}$. Abhängig von den elektrischen Leitfähigkeitsverhältnissen im Bereich der Prüf-Messspitze ergeben sich messbare Potentialdifferenzen U_{Mess} zwischen der Referenzelektrode und der Messspitze. U_{Mess} ist zum elektrischen Leitwert des Organismus zwischen Elektrode und Messspitze reziprok (Abb. 1). Diese Potentialdifferenz wird auf die Spannung U_O der Stromquelle bezogen und in der normierten Form $U_M/\% = U_{\text{Mess}}/U_O \cdot 100$ angegeben (Abb. 2). Unsere Vorversuche mit dieser Messmethodik zeigen, wie in der Literatur beschrieben, dass die Potentialdifferenz U_M abhängig ist vom Messort auf der Haut, der Hautfeuchte, dem Anpressdruck und dem Anpresswinkel.

Sensorprinzip

Bei unserer neuen Messmethodik wird anstatt einer singulären Elektrode der bekannten Messgriffel ein Elektrodenfeld, d.h. mehrere Elektroden in definierter Anordnung (Array) eingesetzt. Zwischen die Punkte A und B (Abb. 1) wird eine neu entwickelte Elektronik geschaltet, die es ermöglicht, die Hautpotentiale an jeder Messelektrode des Arrays mit dem Messgerät einzeln zu bestimmen. Im Verlauf einer Messung mit diesen Flächenelektroden wird die Spannungsquelle U_O mit ihrem Innenwiderstand R_i durch die Elektronik zyklisch an jeden einzelnen Messkontakt geschaltet und die Spannung U_{Mess} erfasst. Die Messung je Kontakt und die Umschaltung auf die nächste Elektrode bedarf einiger Millisekunden. Alle Elektroden dieses Arrays können innerhalb einer Sekunde abgefragt werden und ermöglichen nahezu die Erfassung eines «steady state».

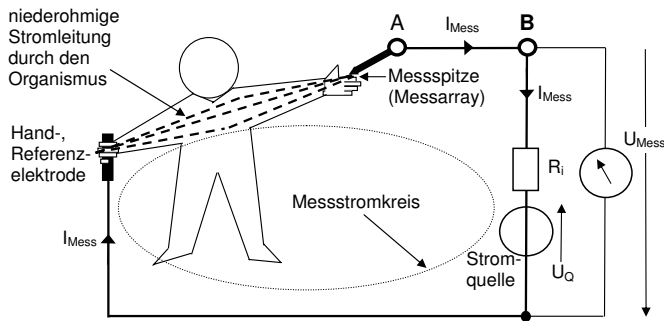


Abb. 1. Schaltskizze zur Leitfähigkeitsmessung am Menschen. Von der Stromquelle (U_0 , R_i) wird der Strom I_{Mess} durch den Organismus bewirkt. Die davon verursachte Spannung U_{Mess} wird ausgewertet.

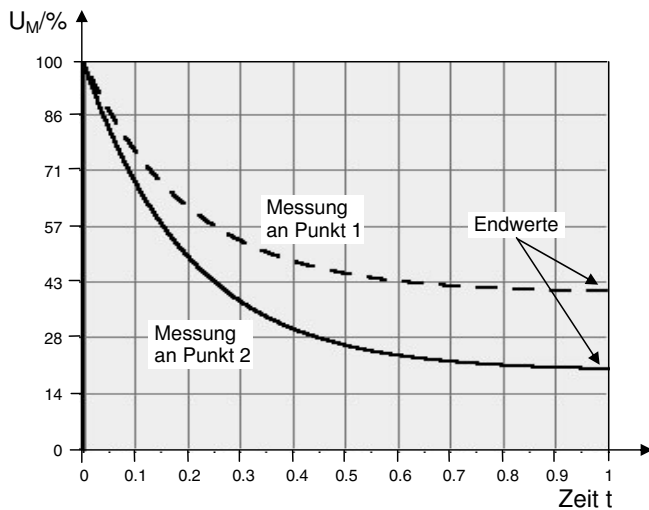


Abb. 2. Qualitativer zeitlicher Verlauf der Potentialdifferenz U_M an zwei örtlich willkürlich ausgewählten Messpunkten. Messwertunterschiede wie im Bild dargestellt, können gleichzeitig an zwei Messpunkten mit weniger als 1 cm Abstand auftreten. Der niedrigere Verlauf an Punkt 2 könnte darauf hinweisen, dass es sich dabei um einen Akupunkturpunkt handelt.

Durch diesen Aufbau können benachbarte Hautareale unmittelbar miteinander verglichen werden ohne die bekannten Störgrößen wie unterschiedlicher Anpressdruck oder Anpresswinkel. Auch die Hautfeuchte kann als vergleichbar unter dem gesamten Messarray angenommen werden.

Messgriffel

Das Array im Messgriffel (Abb. 3) besteht aus 32 federnd gelagerten Prüfspitzen mit einem Federhub von zirka 1 mm, die in einer 6×6 -Matrix ($3,5 \times 3,5 \text{ mm}^2$) angeordnet sind. Auf die 4 Eckspitzen wurde auf Grund der Kreisform verzichtet. Der Abstand der Messspitzen beträgt 0,65 mm, die Dicke der Elektroden beträgt 0,3 mm. Durch diese enge Anordnung und die federnde Lagerung ist ein gleichmäßiger Anpressdruck im Bereich des Messarrays gewährleistet. Die elektronische Hardware wurde, vergleichbar mit zahnärztlichen Gerätschaften, in der Griffelhülse untergebracht.

Messarray

Das Kontaktarray (Abb. 4) hat 8×8 konvexe Kontaktelektroden, die auf einer Polyurethan-Trägerfolie angebracht sind. Der Elektrodendurchmes-

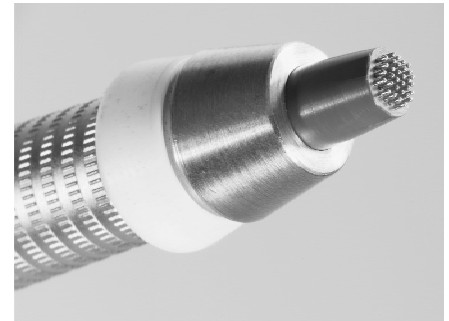


Abb. 3. Array mit 32 Spitzen, Spitzenabstand 0,65 mm zum Messen an kleinen anatomischen Strukturen (Finger, Zehen, Ohren).



Abb. 4. Array mit 64 Kontaktelektroden und einem Abstand von 8 mm für Messungen an Extremitäten.

ser beträgt hier 5 mm, der Elektrodenabstand 8 mm, so dass sich eine Arrayfläche von etwa $60 \times 60 \text{ mm}$ ergibt. Durch ein Luftkissen, vergleichbar einer Blutdruckmanschette wird dieses Messarray gleichmäßig auf die Messstelle angepresst. Der Anpressdruck wird so gewählt, dass es zu keiner Blutstauung durch die Manschette kommt.

Graphische Darstellung der Messergebnisse

In den Abbildungen 5–10 sind die Potentiale U_M dargestellt, die beim Abtasten des Messarrays erfasst werden. Auf Grund der Proportionalität zwischen elektrischem Potential und Widerstand geben die Potentialprofile das örtlich unterschiedliche Leitverhalten wieder, das zwischen den Elektroden des Arrays und der Handelektrode besteht. Um die 2- oder 3-dimensionalen Darstellungen der gemessenen Hautareale zu gewinnen, werden die an den einzelnen Elektroden bestimmten Spannungen U_M mit Hilfe eines Spline-Interpolationsverfahrens zu einem kontinuierlichen Potentialprofil umgerechnet. (Für die wiedergegebenen Abbildungen wurde das Datenanalyse-Programm FlexPro5 auf einem HP-Laptop verwendet.)

Gutes elektrisches Leitverhalten an der Haut im Sinne eines hohen Leitwertes bzw. eines niedrigen Potentials U_M wird in der 3-dimensionalen Darstellung mit zunehmend blauer Farbgebung dargestellt (Abb. 5). Die schlechter leitenden Hautbereiche mit hohen Potentialen U_M werden zunehmend rot dargestellt. In der 2-dimensionalen Darstellung nimmt die Grauintensität mit abnehmender Leitfähigkeit zu (Abb. 6).

Pilotmessung

Probanden

Wir untersuchten in dieser explorativen Arbeit 4 freiwillige Probanden (1 Frau, 3 Männer) im Alter zwischen 35 und 60 Jahren.

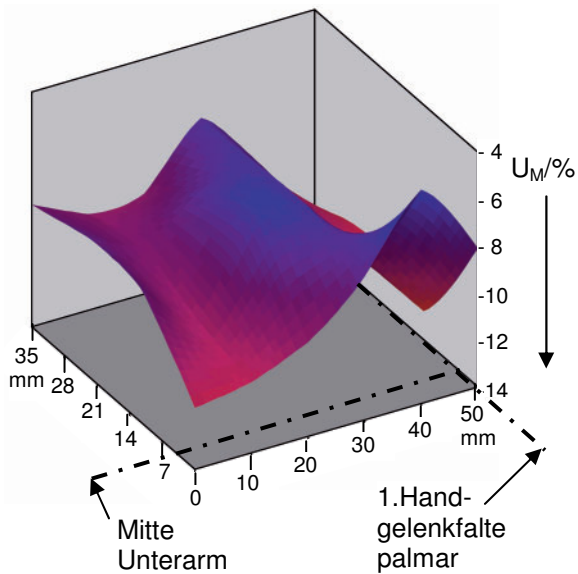


Abb. 5. Proband 1, männlich, rechter Unterarm.

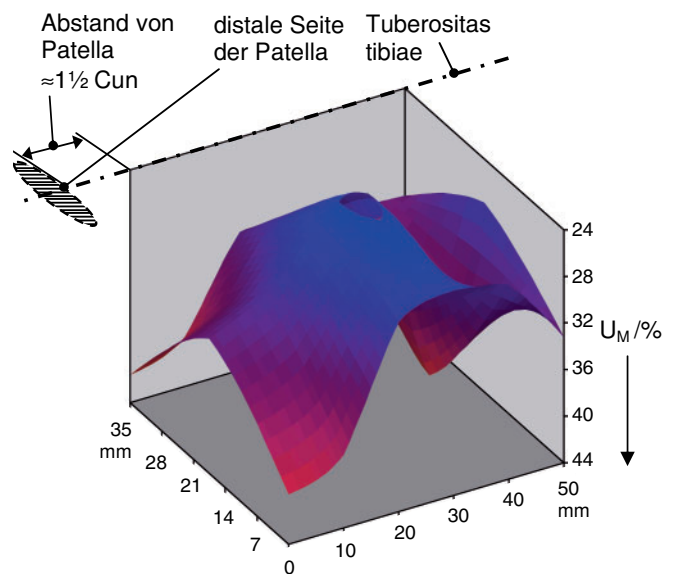


Abb. 7. Proband 1, männlich, rechter Unterschenkel, Abstand zu Patella $\approx 1,5$ Cun. Dreidimensionale Darstellung des Potentials U_M über einer Fläche am rechten Unterschenkel im Bereich des Akupunkturpunktes Magen 36 (= höchste Erhebung).

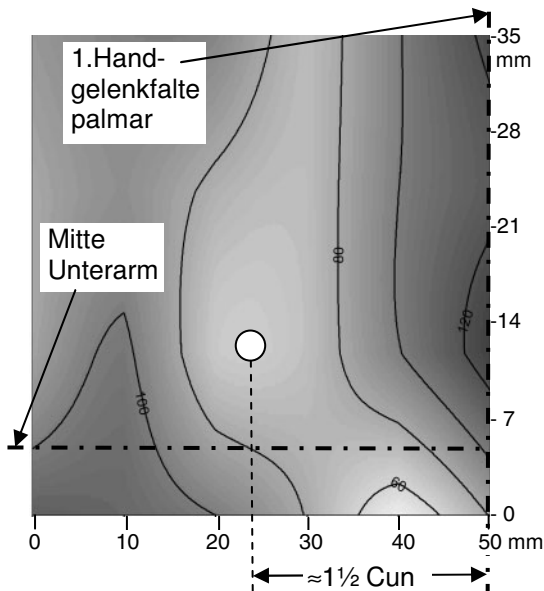


Abb. 6. Zweidimensionale Darstellung der Messung in Abbildung 5.

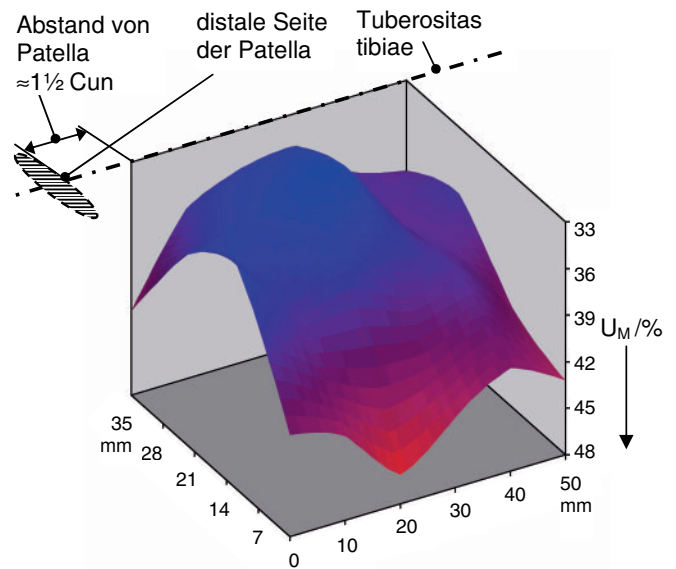


Abb. 8. Proband 2, weiblich, rechter Unterschenkel, Abstand zu Patella $\approx 1,5$ Cun.

Messablauf

Am Tag der Untersuchung wurden die Probanden darauf hingewiesen, keine Kosmetika im Bereich der Messstellen aufzubringen. Auch Körperrasuren durften dort nicht stattfinden. Vor den Messungen wurde die Haut gleichförmig mit wenig Wasser angefeuchtet, um den sehr hohen Widerstand des Stratum corneum überwinden zu können. Das Messarray wurde dann mittels einer Luftkammer gleichförmig am Unterarm bzw. Unterschenkel befestigt, wobei anatomische Landmarken zur gleichförmigen Fixierung genutzt wurden.

Ergebnisse

Die Abbildungen 7–10 zeigen experimentelle Messungen mittels des Flächenarrays (Abb. 4) am Unterschenkel der Probanden. Dargestellt ist in den Abbildungen 7–9 das Messresultat 1,5 Cun distal der Patella-Unterkante. Deutlich stellt sich eine unterschiedliche Leitfähigkeit zwischen den einzelnen Elektroden dar, wobei die Region mit dem niedrigsten

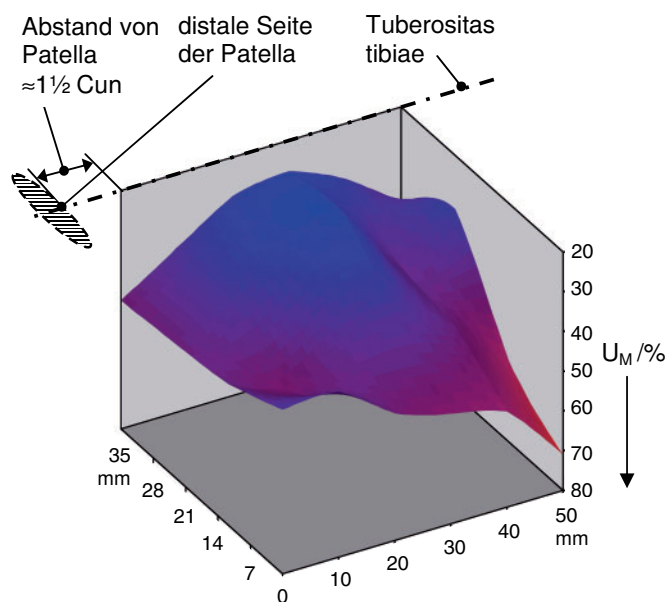


Abb. 9. Proband 3, männlich, rechter Unterschenkel, Abstand zu Patella $\approx 1,5$ Cun.

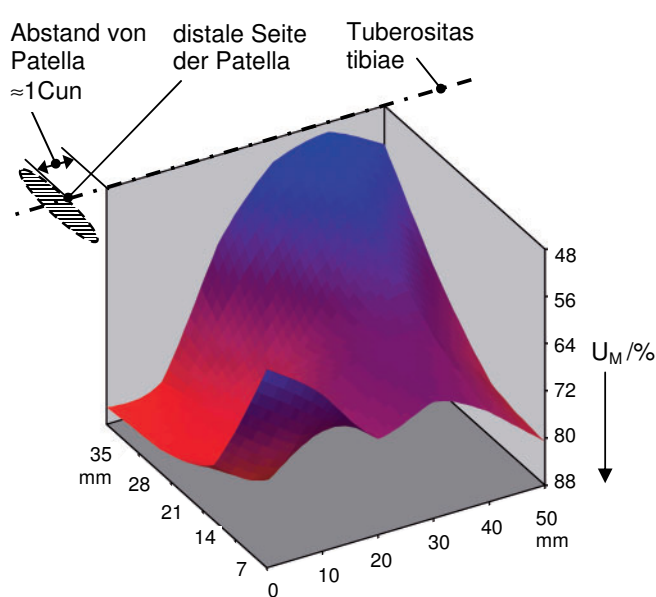


Abb. 10. Proband 3, männlich, rechter Unterschenkel, Abstand zu Patella ≈ 1 Cun, 14 Tage nach der in Abbildung 9 dargestellten Messung.

Widerstand dem Akupunkturpunkt Magen 36 entspricht. Verschiebt man die Elektrode um einen halben Finger nach proximal (Abb. 10), so wird die Region um Magen 36 mit der besten Leitfähigkeit wieder sichtbar, wie zu erwarten jedoch verschoben. Während die Regionen besserer Leitfähigkeit reproduzierbar an denselben Hautregionen dargestellt werden konnten, fanden wir deutliche Unterschiede der Absolutwerte im inter- und intraindividuellen Vergleich, welche sich unter anderem abhängig von der Tageszeit zeigten.

Diskussion

Die in der Vergangenheit eingesetzten Messsysteme zur Erfassung von Leitfähigkeits- und Widerstandsunterschieden der Haut sind unzureichend evaluiert und können den Zusammenhang zwischen reduzierten Hautwiderständen und Akupunkturpunkten nicht abschliessend belegen [5, 11, 14, 18]. Des Weiteren zeigen die eingesetzten Messverfahren eine ausgeprägte Fehleranfälligkeit gegenüber Anpressdruck, Anpresswinkel, Hautfeuchte, sympathoadrenerge Aktivierung oder elektrischer Störgrößen [14, 18].

Mit dem hier vorgestellten neuen Messarray wird eine Methode vorgestellt, deren erste Ergebnisse darauf hinweisen, dass eine reliable und valide Darstellung von unterschiedlichen Leitfähigkeiten der Haut möglich ist. In der Folge ist die systematische Untersuchung von elektrischen Leitfähigkeiten im Bereich von Akupunkturpunkten vorgesehen.

Der wesentliche Vorteil einer Flächenelektrode ist der gleichförmige Anpressdruck durch die Nutzung eines Luftkissens.

Die kurze Messzeit von 1 s erlaubt den unmittelbaren Vergleich von benachbarten Strukturen. Im Gegensatz dazu sind Einzelelektroden nur sehr schwer mit dem gleichen Anpressdruck und dem gleichen Anpresswinkel einsetzbar. Eine Einhaltung von exakten Abständen im Vergleich zur Vormessung ist mit ihnen nur schwer möglich.

Unsere Messmethodik arbeitet mit Gleichstrom. Zwar gibt es einige Autoren die Messungen mit Wechselstrom bevorzugen und diesen Messungen eine grössere Genauigkeit zuschreiben, es zeigen sich hier aber zum Teil erhebliche Unterschiede in den genutzten Frequenzen und Stromstärken [13–16]. Die kritisch zu betrachtende Hydrolyse und Polarisation unter der Nutzung von Gleichstrom tritt erst bei höheren elektrischen Spannungen und längeren Messzeiten auf, so dass wir in unserem Messaufbau mit Messspannungen von weniger als 4 V und einer Messdauer von etwa 20 ms hier keinen Einfluss auf die Messergebnisse erwarten. Sollte sich jedoch bei der Anwendung dieses Messsystems zeigen, dass Messungen mit Frequenzsignalen notwendig werden, so sind diese mit einigen Systemmodifikationen möglich.

Bisher nicht sicher evaluiert ist, ob es im Bereich von Akupunkturpunkten strukturelle anatomische Korrelate gibt. Es werden Gefäss-Nervenbündel in Fasziennücken an Akupunkturpunkten beschrieben [17]. Neuere Arbeiten zeigen einen Zusammenhang von Bindegewebszügen («connective tissue planes») und Meridianen [18]. Diese Unterschiede könnten ein Erklärungsansatz für gemessene Unterschiede der elektrischen Leitfähigkeit der Haut sein. Aber auch eine ungleichmässige Verteilung von sympathisch innervierten sekretorischen Zellen z.B. Schweisszellen ist als Ursache möglich. Um

diese Fehlerquelle ausschliessen zu können, muss das Verfahren in künftigen Studien mit bildgebenden und anatomisch histologischen Untersuchungen ergänzt werden.

Aufgrund der ersten hier vorgestellten Messungen sehen wir noch einige Möglichkeiten, weitere potentielle Störgrößen bei unseren Messungen zu eliminieren. Der grösste Anteil des kutanen elektrischen Widerstandes entsteht durch das Stratum corneum [19]. Es ist nicht zu erwarten, dass die Akupunkturwirkung hier ein anatomisches Korrelat hat. Deshalb ist es wünschenswert, diesen Widerstand zu Gunsten genauer Messungen zu verringern. Hier muss noch ein optimales Verfahren, z.B. standardisiertes «tape stripping» oder gleichförmige Anfeuchtung etabliert werden.

Untersuchungen an flächigen Strukturen werden genauer, wenn die Messapparatur den anatomischen Gegebenheiten folgen kann. Hierzu sind sowohl möglichst weiche Messarrays als auch speziell geformte Arrays für bestimmte Körperregionen denkbar. Die Messungen selbst müssen dann in standardisierter Ablauffolge unter Beachtung aller Einflussgrößen und in einem in Bezug auf den Untersucher verblindeten Versuchsansatz erfolgen. So ist es wichtig, dass anatomische Punktlokalisation und Messung unabhängig voneinander durchgeführt werden und erst nach erfolgter Messung der systematische Vergleich erfolgt.

Die neue Sensortechnik mit den hier vorgestellten ersten Messergebnissen bietet eine gute Ausgangsbasis für die not-

wendigen systematischen, kontrollierten Untersuchungen von Hautwiderständen an Akupunkturpunkten verglichen mit dem umgebenden Gewebe. Sollten sich valide und reliable Ergebnisse an Gesunden ergeben, können in einem zweiten Schritt Versuche unternommen werden mit dem Ziel zu klären, ob und wie stark Veränderungen von elektrischen Hautwiderständen mit bestimmten Erkrankungen oder Symptomen und deren Behandlung [20] korrelieren.

Schlussfolgerung

Erste Messungen zeigen, dass mittels des vorgestellten neuen Messarrays eine zuverlässige Darstellung von unterschiedlichem elektrischem Verhalten der Haut möglich sein kann. Bei einer geplanten systematischen Untersuchung werden Reliabilität und Validität der Messmethodik untersucht. Dabei wird versucht, potentielle Störgrößen systematisch zu eliminieren.

Dank

Die Entwicklung der Messtechnik wurde mit Mitteln der High-Tech-Offensive Bayern an der Fachhochschule Augsburg gefördert. Das Projekt wird von der Deutschen Ärztesgesellschaft für Akupunktur (DÄGfA) unterstützt.

Literatur

- 1 Kaufmann M, Weiss H: Die Beziehung des Gleichstromwiderstandes der Haut zu den Nervenpunkten und deren galvanische Behandlung. *Dtsch Med Wochenschr* 1927;53:1592–1594.
- 2 Voll R: Twenty years of electroacupuncture diagnosis in Germany: a progressive report. *Am J Acupunct* 1975;3:7–17.
- 3 Nakatani Y: Skin electric resistance and ryodoraku. *J Autonomic Nerve* 1956;6:52.
- 4 Niboyet JEH: La moindre resistance a l'electricité de surfaces punctiformes et de trajets cutanés concordants avec les points et méridiens bases de l'acupuncture. Lyon, Imp. Louis-Jean, 1963.
- 5 Lewith GT: Can we evaluate electrodermal testing? *Complement Ther Med* 2003;11:115–117.
- 6 Van Wijk R, Wiegant FAC: Homeopathic remedies and pressure-induced changes in the galvanic resistance of the skin. Utrecht, Van Wijk and Wiegant, 1989.
- 7 Reichmanis M, Marino AA, Becker RO: DC Skin conductance variation at acupuncture loci. *Am J Chin Med* 1976;4:69–72.
- 8 Hyvärinen J, Kalsson M: Low-resistance skin points that may coincide with acupuncture loci. *Med Biol* 1977;55:88–94.
- 9 Jaoubek B, Rohlicek V: Changes of electrodermal properties in the 'acupuncture points' in men and rats. *Physiol Bohemoslov* 1982;31:143–150.
- 10 Kwok G, Cohen M, Cosic I: Mapping acupuncture points using multi channel device. *Australas Phys Eng Sci Med* 1998;21:68–72.
- 11 Colbert AP, Hammerschlag R, Aickin M, McNames J: Reliability of the Prognos electrodermal device for measurements of electrical skin resistance at acupuncture points. *J Altern Complement Med* 2004;10:610–616.
- 12 Mayer-Gindner A, Lek-Uthai A, Abdallah O, Bolz A: Newly explored electrical properties of normal skin and special skin sites. *Biomed Tech (Berl)* 2004;49:117–124.
- 13 Zhang WB: Measurement of cutaneous impedance by four-electrode method at acupoints located with single-power alternative current. *Am J Chin Med* 2004; 32:779–788.
- 14 Schurk HE, Wiegele B: Die EAV aus der Sicht des Ingenieurs. Ein Beitrag zur Objektivierung. *Regulationsmedizin* 1997;2:50–56.
- 15 Zhu F, Leonard EF, Levin NW: Body composition modeling in the calf using anequivalent circuit model of multi-frequency bioimpedance analysis. *Physiol Meas* 2005;26:133–143.
- 16 Barlea NM, Sibianu H, Ciupa RV: Electrical detection of acupuncture points. *Acta Electrotechnica Napocensis* 2000;41:59–61.
- 17 Heine H: Anatomical structure of acupoints. *J Tradit Chin Med* 1988;8:207–213.
- 18 Ahn AC, Wu J, Badger GJ, Hammerschlag R, Langevin HM: Electrical impedance along connective tissue planes associated with acupuncture meridians. *BMC Complement Altern Med* 2005;5: 10.
- 19 Kalia YN, Guy RH: The electrical characteristics of human skin in vivo. *Pharm Res* 1995;12:1605–1611.
- 20 Heine H: Periphere Schmerzverarbeitung an Gelenken durch Akupunktur – Bedeutung des Parasympathikus. *DZA* 2004;3:15–23.