

Akupunktur und Sportmedizin

Wirkeffekte und Anwendungsperspektiven

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
im Fachbereich Psychologie und Sportwissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Markus Hübscher
aus Frankfurt

2007

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. phil. Winfried Banzer, Frankfurt

2. Gutachter: Prof. Dr. med. Gustav Dobos, Essen

Meiner Familie

Inhaltsübersicht

Publikationsverzeichnis	6
1. Einleitung und Zielstellung.....	7
2. Akupunktur	8
2.1 Geschichtliche Entwicklung und Hintergründe der Akupunktur	8
2.2 Physiologische Wirkmechanismen der Akupunktur.....	10
2.2.1 Effekte auf die periphere Durchblutung	10
2.2.2 Akupunkturinduzierte Endorphinfreisetzung	11
2.2.3 Effekte auf das autonome Nervensystem.....	11
2.2.4 Hemmende Modulation nozizeptiver Afferenzen am Hinterhorn	12
2.2.5 Zentralnervöse Aktivierung	13
2.2.6 Monoamin vermittelte Akupunkturanalgesie.....	14
2.2.7 Fazit.....	14
2.3 Laserakupunktur	14
2.4 Studienmethodische Aspekte	17
3 Sport- und bewegungsmedizinische Akupunkturanwendung.....	19
3.1 Sportverletzungen und Sportschäden	19
3.1.1 Gonarthrose.....	20
3.1.2 Chronische Rückenschmerzen.....	20
3.1.3 Epicondylitis lateralis	21
3.1.4 Schulter- und Nackenschmerzen.....	21
3.1.5 Patellofemorales Schmerzsyndrom	22
3.2 Akupunktur und körperliche Leistungsfähigkeit	23
3.3 Regeneration und Übertraining	25
3.4 Belastungsinduzierter Muskelschmerz und Muskelkater.....	26
3.5 Belastungsinduziertes Asthma	28
4 Fazit und Ausblick.....	29
5 Literatur	31
Publikationen.....	45

Publikationsverzeichnis

Die vorliegende Dissertation basiert auf folgenden Publikationen:

- I. Banzer W, **Hübscher M**, Seib M, Vogt L. Short-time effects of laserneedle stimulation on the peripheral microcirculation assessed by laser Doppler spectroscopy and near-infrared spectroscopy. *Photomedicine and Laser Surgery* 2006;24(5):575-580.
- II. **Hübscher M**, Vogt L, Banzer W. Wavelet analysis of laser-induced blood flow changes. *Medical Acupuncture* 2007;19(1):13-16.
- III. **Hübscher M**, Vogt L, Banzer W. Laser needle acupuncture at Neiguan (PC6) does not mediate heart rate variability in young, healthy males. *Photomedicine and Laser Surgery* 2007;25(1):21-25.
- IV. Banzer W, **Hübscher M**, Pfab F, Ziesing A, Vogt L. Akute Effekte der Nadelakupunktur auf die motorische Leistungsfähigkeit im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. *Forschende Komplementärmedizin* 2007;17:81-85.

1. Einleitung und Zielstellung

Bevölkerungsbezogene Studien konstatierten in den letzten Jahren eine zunehmende Verbreitung komplementär- und alternativmedizinischer Heilverfahren (Kelly et al. 2005, Kessler et al. 2001, Morstedt & Moebus 2002). Akupunktur, eine nebenwirkungsarme Therapieform der traditionellen chinesischen Medizin, zählt in den westlichen Ländern zu den am häufigsten in Anspruch genommenen komplementärmedizinischen Verfahren (Astin 1998). Die Akupunkturnutzung lag Anfang der 90er Jahre bei 3% in den USA, 16% in den Niederlanden und 21% in Frankreich (Fisher & Ward 1994). Für Deutschland belegen aktuelle Daten eine Inanspruchnahme von ca. 9% (Härtel & Volger 2004). 32.000 deutsche Ärzte sind in Akupunkturgesellschaften organisiert, mehr als 20% aller niedergelassenen Ärzte, schätzungsweise 40.000-50.000, praktizieren Akupunktur (Stux 2000). Die Gesamtausgaben der gesetzlichen und privaten Krankenkassen für Akupunktur betragen im Jahr 1999 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Morstedt & Moebus 2002) ca. 290 Millionen Euro.

Neben der Anwendung in klinischen Bereichen wie der Orthopädie (Brinkhaus et al. 2006), Neurologie (Fink et al. 2004) und Internistik (Takahashi 2006), erfährt die Akupunktur auch aus sportmedizinischer Sicht zunehmend Beachtung (Ludwig 2001, Meleger & Borg-Stein 2000, Pelham 2001). Beispielsweise zeigen neuere Umfragen an amerikanischen Universitäten mit Prävalenzraten von ca. 12% eine vergleichsweise hohe Inanspruchnahme bei sportlich Aktiven (Nichols & Harrigan 2006).

Vor dem Hintergrund der gestiegenen medizinischen und sozioökonomischen Relevanz von Akupunktur und Laserakupunktur (Whittaker 2004) werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Anwendungsfelder und Forschungsperspektiven in der präventiven und rehabilitativen Sportmedizin skizziert. Hierzu zählen insbesondere die Therapie von Sportverletzungen und Sportschäden, die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit, die Unterstützung und Förderung der Regeneration, die Behandlung belastungsassoziierter Muskelschmerzen sowie die Vorbeugung von belastungsinduziertem Asthma. Als Orientierungspunkt dienen Studien zur Prüfung der spezifischen Wirkung und klinischen Wirksamkeit, Untersuchungen zu angewandten sportmedizinischen Fragestellungen sowie gegenwärtige neurobiologische Konzepte zugrunde liegender Wirkmechanismen. Aufbauend auf den aktuellen Forschungsstand werden eigene Originalarbeiten vorgestellt, die sich mit der Evaluation spezifischer Effekte der Akupunktur und Laserakupunktur befassen. Untersucht wurden mikrovaskuläre und neurovegetative Mechanismen sowie Wirkungen auf ausgewählte Messgrößen der muskulären Leistungsfähigkeit.

2. Akupunktur

Im folgenden Abschnitt werden zentrale Grundbegriffe und -konzepte der Akupunkturtherapie behandelt. Die Ausführungen verstehen sich dabei nicht als umfassende Abhandlung des Themengebietes, sondern sind bestrebt, dem Leser einen komprimierten Überblick über relevante historische Entwicklungen und Hintergründe, naturwissenschaftliche Erklärungsansätze zur Wirkweise, Grundlagen zur Laserakupunktur sowie studienmethodische Aspekte zu vermitteln. Literaturempfehlungen werden themenbezogen zur vertiefenden Lektüre gegeben.

2.1 Geschichtliche Entwicklung und Hintergründe der Akupunktur

Akupunktur ist ein wesentlicher therapeutischer Bestandteil der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) und wird in Asien seit ca. 2500 Jahren zur Prävention und Behandlung verschiedenster Krankheiten eingesetzt (Pearl & Schrollinger 1999). Obgleich der genaue zeitliche Ursprung der Akupunktur bisweilen kontrovers diskutiert wird, finden sich erste systematische Beschreibungen der Diagnostik und Behandlung in den medizinischen Schriften des *Inneren Klassikers des Gelben Fürsten* (Huang Di Nei Jing), die schätzungsweise um 100 v. Chr. verfasst wurden (White & Ernst 2004). Das zur Zeit der Ming Dynastie (1368-1644) publizierte Werk *The great compendium of Acupuncture and Moxibustion* wird als Ursprung der modernen Akupunktur betrachtet (White & Ernst 2004) und beschreibt die Existenz von 365 definierten Akupunkturpunkten. Mit Beginn des 19. Jahrhunderts wurde Akupunktur zur vielfältigen Behandlung von rheumatischen Schmerzen und Funktionsstörungen erstmalig auch von Ärzten in England, Frankreich und Deutschland eingesetzt (Baldry 2005). Detaillierte Ausführungen zu historischen Entwicklungen der Akupunktur finden sich bei Ma (1992), Wolfson (2003) und Wu (1996).

Im Gegensatz zur westlichen, naturwissenschaftlich begründeten Medizin basiert die TCM, und somit auch die Akupunktur, auf metaphysisch und philosophisch orientierten Konzepten. Demnach bewegt sich die Lebensenergie Qi in Leitbahnen, den sogenannten Meridianen, um den Körper mit Nährstoffen und Lebensenergie zu versorgen. Auf diesen, den inneren Organen zugeordneten Meridianen, liegen die Akupunkturpunkte, welche „Zugänge“ zu den Meridianen repräsentieren. Störungen des Qi-Flusses führen nach Auffassung der TCM zu Imbalancen zwischen Ying und Yang und somit zur Entstehung von Erkrankungen und Schmerzen. Durch gezielte Stimulation spezifischer Akupunkturpunkte sollen Störungen des Qi-Flusses harmonisiert und die Balance zwischen Ying und Yang wieder hergestellt werden. Die Akupunktur versteht sich somit als Regulationsmedizin, deren diagnostische und therapeutische Vorgehensweise sich auf das hypothetische Konstrukt der Energieströme stützt. Umfassende

Darstellungen funktioneller Hintergründe der Akupunktur aus traditioneller Sicht sind in Bihlmaier (2003), Kaptchuk (2002), Meng (2000), Stux et al. (2003) und Wu (1996) zu finden. Die genannten Theorien sind aus wissenschaftlicher Perspektive bisher nur unzureichend evaluiert. Es fehlen konsistente wissenschaftliche Daten zum Nachweis eines morphologisch-anatomischen Korrelats für Akupunkturpunkte und Meridiane sowie die Evidenz für die Konzepte der Lebensenergie Qi sowie Ying und Yang. Einige Untersuchungen berichten über morphologisch-anatomische und elektrophysiologische Charakteristika von Akupunkturpunkten und Meridianen, welche diese scheinbar vom umgebenden Gewebe distinguieren. Beschrieben werden Perforationen von Nervengewebe durch die oberflächliche Körperfazie (Heine 1988, 2001), Zusammenhänge von Akupunkturpunkten und Meridianen mit inter- und intramuskulärem Bindegewebe (Langevin & Yandow 2002) sowie ein vergleichsweise reduzierter elektrischer Hautwiderstand (Comunetti et al. 1995, Ahn et al. 2005, Wiegele et al. 2006). Aus einer aktuellen Übersichtsarbeit von Bäcker et al. (2004) geht jedoch hervor, dass den Akupunkturpunkten kein einheitliches morphologisch-anatomisches Korrelat zugrunde zu liegen scheint.

Basierend auf der Evaluation relevanter wissenschaftlicher und medizinischer Daten wurde von der Konsensus Konferenz der amerikanischen *National Institutes of Health* im Jahr 1998 die potentielle Wirksamkeit der Akupunktur für eine Vielzahl von medizinischen Indikationen anerkannt (NIH 1998). Allerdings wurde auch, aufgrund der in einigen Bereichen kontroversen Ergebnislage, eine Fortsetzung der wissenschaftlichen Forschung gefordert.

Im Rahmen der Modellvorhaben der gesetzlichen Krankenkassen begannen in Deutschland im Jahr 2000, neben anderen Projektteilen, die randomisierten, kontrollierten Studien „Acupuncture randomised trials (ART)“ und „German Acupuncture Trials (Gerac)“, die weltweit größten und methodisch hochwertigsten Akupunkturstudien, mit dem Ziel der Wirksamkeitsprüfung von Akupunktur (Bäcker et al. 2006, Witt et al. 2006a). Es zeigten sich indikationsspezifisch signifikante und klinisch relevante Wirkungen der Nadelstimulation. Allerdings waren die punktspezifischen Effekte der Verumakupunktur im Vergleich zur Schein- oder Minimalakupunktur nicht signifikant (Brinkhaus et al. 2006, Bäcker et al. 2006, Scharf et al. 2006). Ausschließlich eine ART-Studie zum Gonarthrose-Schmerz fand spezifische Akupunkturwirkungen (Witt et al. 2005). Auch gelang in einigen weiteren randomisierten, kontrollierten klinischen Studien der Nachweis spezifischer Akupunkturwirkungen, beispielsweise bei Gonarthrose (Berman et al. 2004), bei Tendinopathien der Rotatorenmanschette (Kleinhenz et al. 1999) und chronischen Nackenschmerzen (Vas et al. 2006).

Letztendlich lässt sich die Frage nach der Spezifität von Akupunktur vor dem Hintergrund des derzeitigen Forschungsstandes nicht abschließend beantworten. Die therapeutische

Wirksamkeit der Schein- oder Minimalakupunktur lässt sich möglicherweise durch nicht punktspezifische physiologische Nadeleffekte sowie psychologische Wirkungen der Therapiesituation erklären (Bäcker et al. 2006, Paterson & Dieppe 2005).

2.2 Physiologische Wirkmechanismen der Akupunktur

Schwerpunkt der Grundlagenforschung zu den Wirkeffekten der Akupunktur bilden Untersuchungen neurobiologischer Mechanismen der Akupunkturanalgesie (Irnich & Bayer 2002). Systematische Übersichten der wesentlichen Ergebnisse finden sich bei Andersson (1993), Andersson & Lundeberg (1995), Bäcker et al. (2004), Bäcker & Dobos (2006), Carlsson (2002) und Irnich & Bayer (2002). In Anlehnung an diese Arbeiten und basierend auf aktuellen Experimentalstudien werden im Folgenden lokale und systemische Akupunkturreffekte zusammenfassend dargestellt.

2.2.1 Effekte auf die periphere Durchblutung

Auswirkungen der Akupunktur auf die periphere Durchblutung wurden bereits in einigen wissenschaftlichen Studien untersucht. Hierzu kommen neben thermografischen Verfahren zur Messung der Wärmeabstrahlung des Körpers zunehmend optische Techniken zum Mikrozirkulationsmonitoring zum Einsatz (zur Messmethodik siehe Publikationen I und II). Bei gesunden Probanden zeigten sich akupunkturinduzierte kurzfristige Reduktionen der peripheren Durchblutung unmittelbar nach Nadelinsertion mit konsekutiven Durchblutungssteigerungen, die den Zeitraum der Insertion eindeutig überdauern (Litscher et al. 2002). Studien von Kuo et al. (2004) und Sandberg et al. (2003) demonstrierten Erhöhungen der Hauttemperatur und Mikrozirkulation unmittelbar nach der Akupunkturstimulation. Keine Steigerungen der Mikrozirkulation konnten in einer Studie von Knardahl et al. (1998) nachgewiesen werden. Nach initialer Abnahme des Blutflusses während Elektroakupunktur kam es nach der Stimulation zu einer sukzessiven Annäherung an die Ruhedurchblutung. Auch bei Erkrankungen, die mit Regulationsstörungen der regionalen Durchblutung assoziiert sind, wurden positive Effekte der Akupunktur beobachtet. Beispielsweise zeigten Untersuchungen bei Patienten mit diagnostizierter Fibromyalgie signifikante Erhöhungen der Haut- und Muskeldurchblutung nach singulärer und repetitiver Nadelung (Sandberg et al. 2004, Sprött 2002).

Relevante Mechanismen mikrovaskulärer Blutflusskontrolle werden diskutiert als sympathisch vermittelte segmentale Reflexe (Kimura et al. 2006, Knardahl et al. 1998), Ausschüttung von

vasoaktiven Neuropeptiden wie „calcitonin gene related peptide“ (CGRP)¹ und Substanz P (SP) via Axon-Reflex (Han 2003, Loaiza et al. 2002a) sowie die endothelvermittelte Freisetzung von Stickstoffmonoxid (NO) (Loaiza et al. 2002b). In diesem Zusammenhang beschreibt die mit [I] gekennzeichnete Studie beispielhaft eine methodische Herangehensweise zur nichtinvasiven Evaluation mikrovaskulärer Regulationsmechanismen.

2.2.2 Akupunkturinduzierte Endorphinfreisetzung

Experimentelle Untersuchungen anhand von Schmerzmodellen bestätigen die Bedeutung der endogenen Endorphinfreisetzung für die Akupunkturanalgesie (Han 2003). Der Großteil vorliegender Daten stammt aus tierexperimentellen Studien, hingegen ist die Zahl der Studien an Menschen vergleichsweise gering (Irnich & Bayer 2002). Methodisch erfolgt der Nachweis der Beteiligung endogener Opioide an der Entstehung der Akupunkturanalgesie indirekt mittels des Opioidantagonisten Naloxone. Hwang et al. (2002) konnten im Tiermodell zeigen, dass Elektro-Akupunktur zur Anhebung der experimentell induzierten Schmerzschwelle führte. Bei preexperimenteller Gabe von Naloxone wurde eine Unterdrückung der Analgesie beobachtet, was auf eine Aktivierung endorphinergener Mechanismen im Zentralen Nervensystem (ZNS) hinweist. Diese Ergebnisse stehen in Übereinkunft mit Tierstudien von Chen et al. (1996) und Huang et al. (2002) sowie mit Studien am Menschen von Mayer et al. (1977), welche ebenfalls die Antagonisierbarkeit akupunkturinduzierter Analgesie durch Naloxone darlegen. Die Bedeutung endogener Opioide im Kontext Schmerz liegt in ihrer inhibitorischen Wirkung auf das zentrale nozizeptive System (Schaible & Schmidt 2000). Darüber hinaus spielen sie eine entscheidende Rolle bei der autonomen Regulation des kardiovaskulären Systems (Sapru & Chitravanshi 2002, Chao et al. 1999).

2.2.3 Effekte auf das autonome Nervensystem

Schmerz und Autonomes Nervensystem (ANS) weisen komplexe Zusammenhänge auf, die Gegenstand intensiver Forschungsbemühungen und wissenschaftlicher Diskussionen sind (Baron & Jänig 1998, Irnich & Bayer 2002, Michaelis & Jänig 1998, Zimmermann 1976). Zur objektiven Untersuchung akupunkturinduzierter Veränderungen der autonom-vegetativen Regulation stehen Methoden der Thermographie, Mikroneurographie, Blutdruckmessung, Mikrozirkulationsmonitoring (zur Messmethodik siehe Studien [II] und [III]) sowie die Herzfrequenzvariabilitätsanalyse (zur Messmethodik siehe Veröffentlichung [IV]) zur Verfügung.

¹ Obwohl CGRP eigentlich zu den entzündungsfördernden Neuropeptiden gehört, scheint es in niedriger Dosierung ein antiinflammatorisches Potential zu besitzen (Raud et al. 1991). Ein vom Nadelreiz ausgehender und über CGRP-Ausschüttung getriggelter, lokaler entzündungshemmender Effekt wäre somit denkbar (Bäcker et al. 2004).

Es existieren zahlreiche grundlagenorientierte Untersuchungen an Mensch und Tier, die Hinweise auf eine Beeinflussung des ANS durch Akupunkturstimulation somatisch afferenter Nervenfasern geben (Agelink et al. 2003, Ernst & Lee 1986, Li et al. 1998, Li et al. 2003, Lin et al. 2003, Tjen-A-Looi et al. 2003, Wang et al. 2002, Zhou et al. 2005). Allerdings lässt sich die Frage nach den systemischen Effekten der Akupunktur in diesem Zusammenhang nicht abschließend beantworten. Aktuelle Studien zeigen sympathomimetische Effekte (Kimura et al. 2006, Knardahl et al. 1998) ebenso wie parasympathomimetische Wirkungen (Huang et al. 2005, Nishijo et al. 1997) auf das kardiovaskuläre System, die scheinbar vom Ort der Stimulation, vom Erhebungszeitpunkt (Haker et al. 2000) sowie vom funktionellen Zustand des ANS (Li et al. 2005) abhängen.

2.2.4 Hemmende Modulation nozizeptiver Afferenzen am Hinterhorn

Schmerzhafte Reize führen zur Aktivierung nozizeptiver Afferenzen, die an den Hinterneuronen des Rückenmarks synaptisch auf ascendierende Bahnen umgeschaltet werden und zum Hirnstamm, Thalamus und Kortex ziehen (Schaible & Schmidt 2000, Zimmermann 1976). Das zum Zentralnervensystem aufsteigende noxische Signal unterliegt komplexen inhibitorischen oder exzitatorischen Modulationen, die an den Hinterhornneuronen auf spinaler Ebene wirksam werden (Zimmermann 2004). Inhibitorische Effekte, welche durch segmentale und absteigende supraspinale Systeme moduliert werden, sind als ein zentraler Mechanismus der körpereigenen Schmerzabwehr anzusehen (Sandkühler 2001, Schaible & Schmidt 2000). Aktuelle Daten elektrophysiologischer Grundlagenforschung an Tieren zeigen, dass sich die segmentale spinale Hemmung durch moderate Reizung sensorischer Afferenzen zusätzlich aktivieren lässt. Ikeda et al. (2000) und Liu et al. (1998) beobachteten nach elektrischer Stimulation von A-delta-Afferenzen eine langfristige Inhibition der synaptischen Übertragung zwischen nozizeptiven C-Fasern und spinalen Hinterhornneuronen. Die Induktion segmental sowie intersegmental vermittelter Antinozizeption durch Elektroakupunktur bzw. Akupunktur konnte im Rattenversuch bestätigt werden (Rong et al. 2005, Zhu et al. 2004). Dauerhafte Modifikationen der Nozizeption lassen sich in diesem Kontext wahrscheinlich durch neuroplastische Veränderungen der erregenden Synapsen mit Verringerung der Transmissionsstärke erklären (Ikeda et al. 1999, 2000).

Angrenzend an dieses Phänomen wird die Beteiligung supraspinaler, von Hirnstammkernen (u.a. Periaquäduktales Grau) descendierenden Bahnen bei akupunkturinduzierter Hemmung des nozizeptiven Einstroms am Hinterhorn postuliert (Rong et al. 2005, Shen et al. 1978). Als Neurotransmitter segmentaler und absteigender Hemmsysteme sind endogene Opiode und Monoamine wie Serotonin und Noradrenalin bekannt (Sandkühler 2005, Zimmermann 2004).

2.2.5 Zentralnervöse Aktivierung

Zur Erforschung der zerebralen Beteiligung bei akupunkturinduzierten Effekten kommen in aktuellen neurophysiologischen Studien die Elektroenzephalografie (EEG) und Verfahren der funktionellen Bildgebung zum Einsatz. Chen et al. (2006) beobachteten signifikante Reduktionen von Theta-Wellen in der frontalen Ableitung des EEG-Signals während hochfrequenter Elektroakupunktur von Hegu (Di4). Die Autoren vermuten spezifische Effekte auf den Cortex cinguli anterior, ein für die Schmerz Wahrnehmung relevantes Hirngebiet. Keine Modulationen der EEG-Aktivität durch Akupunktur konnten von Rosted et al. (2001) gefunden werden. Mit Hilfe der funktionellen Kernspintomographie (fMRI) konnten Cho et al. (1998) akupunkturspezifische Einflüsse auf das menschliche Gehirn darstellen. Durch Nadelung von Akupunkturpunkten des Blasenmeridians (BL 67-BL60), die nach traditioneller Anschauung zur Behandlung von Erkrankungen des Auges eingesetzt werden, konnten neuronale Aktivierungen des visuellen Kortex beobachtet werden. Biella et al. (2001) untersuchten mittels Positronenemissionstomographie (PET) Akupunkturreffekte an den vermutlich analgetisch wirkenden Punkten Zusanli (Ma36) und Chize (Lu5). Die Resultate zeigen Aktivitätssteigerungen in zerebralen Strukturen, die ansonsten an Prozessen der Schmerzverarbeitung beteiligt sind (Insula, Cortex cinguli anterior, Cerebellum). Diese Ergebnisse stehen in Übereinkunft mit weiteren fMRI basierten Analysen zentralnervöser Akupunkturreffekte. Daten von Hui et al. (2000) und Wu et al. (2002) geben Hinweise auf eine Modulation der Aktivität limbischer und hypothalamischer Strukturen bei Nadelung der Punkte Hegu (Di4) und Yanglinquan (Gb34). Ferner demonstrieren Wu et al. (1999) Steigerungen neuronaler Aktivität im Bereich des Hypothalamus, des limbischen Systems und des periaquäductalen Graus durch Stimulation der Punkte Zusanli (Ma36) und Hegu (Di4).

Das mit funktioneller Bildgebung identifizierte Akupunkturpotential zur Aktivierung zerebraler Strukturen, die dem deszendierenden antinozeptiven System angehören (Hypothalamus, Periaquäductales Grau), scheint konsistent mit den oben erwähnten Resultaten neurobiologischer Grundlagenforschung zur Aktivierung absteigender Schmerzhemmung durch Akupunktur zu sein (Rong et al. 2005, Shen et al. 1978, Wu et al. 1999).

Im Hinblick auf potentielle Wirkmechanismen im Rahmen der Akupunkturanalgesie ist es ferner denkbar, dass Akupunktur über eine Modulation der Aktivierung des limbischen Systems auf die affektiv-emotionale Schmerz Wahrnehmung wirkt (Wu et al. 1999).

2.2.6 Monoamin vermittelte Akupunkturalgesie

Daten tierexperimenteller Untersuchungen liefern Evidenz für eine Beteiligung nichtopioider Neurotransmitter, v.a. der Monoamine Serotonin und Noradrenalin, an der Akupunkturalgesie. Studien von Baek et al. (2005) und Kim et al. (2005) fanden Reduktionen experimentell induzierter Hyperalgesie durch Elektroakupunktur (2 Hz) am Punkt Zusanli (St36). Selektive Blockaden von Serotonin Rezeptoren (5-HT_{1a}, 5-HT₃) bewirkten eine Verminderung des analgetischen Effektes, was auf eine Beteiligung serotonerger Mechanismen schließen lässt. Diese Ergebnisse bestätigen neurochemische Studien von Yoshimoto et al. (2006), die nach Akupunkturstimulation von Shenshu (Bl23) erhöhte Serotoninkonzentrationen im zerebralen Liquor von Ratten nachweisen konnten.

Ferner weisen Resultate von Kim et al. (2005) auf die Bedeutung von Noradrenalin bei der Akupunkturalgesie hin. Die bei Ratten durch EA (2 Hz) am Punkt Zusanli (St36) evozierte Akupunkturalgesie konnte durch Applikation des α_2 -Noradrenalinantagonisten Yohimbine unterdrückt werden.

2.2.7 Fazit

Die dargestellten Resultate neurobiologischer Grundlagenforschung liefern stichhaltige Erklärungsansätze zur kurzfristigen analgetischen Wirkung von Akupunktur. Dennoch fehlt bisher eine umfassende und plausible Theorie zu den Wirkmechanismen, die klinisch relevante Wirkungen, insbesondere im Hinblick auf therapeutische Langzeiteffekte, abschließend erklären.

2.3 Laserakupunktur

Bei der Laserakupunktur werden spezifische Akupunkturpunkte mit niederenergetischem Laser stimuliert (Ebnesahidi et al. 2005, Schlager 1998). Praktische und methodische Vorteile dieses Verfahrens im Vergleich zur Nadelakupunktur liegen in der Schmerzlosigkeit der Anwendung, im fehlenden Infektionsrisiko, in der einfachen und zeitökonomischen Anwendung, in der Standardisierbarkeit von Stimulationstechnik und -parametern sowie in der Durchführbarkeit einer physiologisch inerten Placebokontrolle. Eine aktuelle Übersicht dieses Verfahrens findet sich bei Whittaker (2004).

Das Akronym „Laser“ steht für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ und bedeutet Lichtverstärkung durch stimulierte Aussendung von Strahlung. Kollimiertes Laserlicht kann im sichtbaren, infraroten und ultraroten Spektralbereich erzeugt werden und breitet sich in phasengleichen (räumlich und zeitlich kohärenten) optischen Wellen einer Länge (Monochromasie) aus. Dadurch wird eine vergleichsweise höhere Lichtintensität erzeugt als bei

anderen Lichtquellen. Übersichten zu physikalischen und medizinischen Grundlagen von Lasern finden sich bei Philipp & Berlien (2003), Romberg (2005) und Simunovic (2000). In der Medizin sind hochenergetische Laser (chirurgische Laser) von niederenergetischen Lasern (low power Laser, LPL) zu unterscheiden. Zu den häufigsten Indikationen der LPL-Behandlung zählen Wundheilungsstörungen (Gupta et al. 1998, Schindl et al. 1999), mikrovaskuläre Komplikationen bei Diabetes mellitus (Schindl et al. 1998, 2002) und Morbus Raynaud (Al-Awami et al. 2001, Hirschl et al. 2002) sowie akute inflammatorische und chronische Schmerzen (Bjordal et al. 2006, Basford 1999, Brosseau et al. 2000). Obgleich die dem LPL zugrunde liegenden therapeutischen Wirkmechanismen bisher nur teilweise geklärt sind, werden insbesondere nichtthermische, photochemische Prozesse auf zellulärer Ebene postuliert (Knappe et al. 2004). Die applizierte Laserenergie kann demnach von endogenen Photosensibilisatoren wie beispielsweise Porphyrin, mitochondriales Cytochrom, Flavoprotein und NADPH-Oxidase absorbiert werden (Lubart 2005, 2006). Die aktivierten Photosensibilisatoren bilden reaktive Sauerstoffspezies (ROS), die neben ihren pathophysiologischen Wirkungen eine essentielle Funktion bei der Zellproliferation und Zellregulation einnehmen (Burdon 1995, Finkel 2000, Lubart 2005). In diesem Zusammenhang zeigen in vitro Studien von Passarella et al. (1988) und tierexperimentelle in vivo Untersuchungen von Mochizuki-Oda et al. (2002) laserinduzierte Aktivierungen von Enzymkomplexen der Atmungskette mit konsekutiven Steigerungen der mitochondrialen ATP-Produktion. Weitere in vitro Studien demonstrieren biostimulative Effekte des LPL auf die Proliferation von humanen Fibroblasten (Azevedo et al. 2006, Pal et al. 2007) und animalischen Osteoblasten (Garavello-Freitas et al. 2003, Stein et al. 2005), wobei das Ausmaß der Gewebewirkung maßgeblich von den verwendeten Wellenlängen sowie Leistungs- bzw. Energiedichten bestimmt wird (Almeida-Lopes et al. 2001, Azevedo et al. 2006, Khadra et al. 2005). Darüber hinaus stehen mikrovaskuläre und neurophysiologische Mechanismen im Rahmen laserinduzierbarer Therapieeffekte zur Diskussion. Studien von Flitney & Megson (2003), Karlsson et al. (1984) und Maegawa et al. (2000) weisen auf eine NO-cGMP-vermittelte Relaxation glatter Gefäßmuskelzellen mit konsekutiv gesteigerter Mikrozirkulation hin. Neurophysiologische Experimente von Tsuchiya et al. (1993) und Kasai et al. (1996) demonstrieren eine reduzierte Impulsleitung peripherer sensorischer Nerven. Eine detaillierte Übersicht zu neurobiologischen Wirkmechanismen sowie klinischen Anwendungsfeldern des LPL findet sich bei Bjordal et al. (2006).

Im Hinblick auf zugrunde liegende Wirkmechanismen der Laserakupunktur ist bislang die Frage offen, inwieweit durch Laserstimulation dieselben neurobiologischen Systeme aktiviert werden wie bei der Nadelakupunktur. Unter Berücksichtigung der bisherigen Ausführungen ist vielmehr davon auszugehen, dass Laserakupunktur Mechanismen auf mindestens zwei verschiedenen physiologischen Wirkungsebenen aufweist. Einerseits sind photophysikalische und

photochemische Effekte zu erwarten, die auf den beschriebenen Licht-Gewebe-Interaktionen beruhen. Andererseits werden lokale und systemische Effekte im Sinne der genannten Akupunkturwirkungen hypothetisiert, die aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften beider Methoden allerdings fragwürdig erscheinen (Whittaker 2004). Deutlich wird, dass wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen notwendig sind, um postulierte neurobiologische Wirkungen von Nadelakupunktur auch für die Laserakupunktur zu verifizieren oder falsifizieren (Whittaker 2004). Zurzeit liegen derartige Studien nur für endorphinerge und zerebrale Mechanismen vor. Whittaker (2006) gelang in seiner Pilotstudie der Nachweis einer opioid-vermittelten analgetisierenden Wirkung von Laserakupunktur im Tiermodell. Einige erste fMRI-basierte Analysen beim Menschen konnten vergleichbare zerebrale Aktivitätsmuster nachweisen, wie sie für die Nadel-Akupunktur beschrieben wurden (Litscher et al. 2004, Siedentopf et al. 2002, 2005). Mit dem Ziel der Erweiterung des aktuellen Forschungsstandes evaluieren die mit I, II und III gekennzeichneten Studien erstmalig akute Effekte von Laserakupunktur auf mikrovaskuläre und neurophysiologische Parameter beim Menschen. Ziel der mit I bezeichneten randomisierten, doppelblinden, placebokontrollierten Studie war die Erfassung immediater Effekte von Laserakupunktur am Akupunkturpunkt Neiguan (PC6) auf die periphere Mikrozirkulation und muskuläre Oxygenierung bei gesunden Probanden. Während die nahinfrarotspektroskopischen Messungen der Hämoglobinoxygenierung keine signifikanten Veränderungen zeigten, konnten mittels Laser Doppler Spektroskopie signifikante Erhöhungen der peripheren kutanen und subkutanen Mikrozirkulation als spezifischer Treatmenteffekt nachgewiesen werden. Hieraus ergeben sich klinische Implikationen für den Einsatz der Laserakupunktur zur Behandlung muskuloskeletaler Schmerzsyndrome, die mit Störungen der Mikrozirkulation einhergehen. Allerdings erfordert eine differenzierte klinische auf den Wirkmechanismen basierende Anwendung der Akupunkturtherapie (Bäcker et al. 2004) gründliche Kenntnisse zugrunde liegender physiologischer Mechanismen. In diesem Sinne versteht sich die mit II bezeichnete Untersuchung aufgrund des noch kaum untersuchten Themenbereichs als explorative Studie zur Überprüfung der Anwendbarkeit einer Zeit-Frequenz-Methode zur Analyse von laserakupunkturinduzierten Blutflussänderungen. Im Vordergrund stand – mit einem integrativen Zugang – die relative Bedeutung kardialer, respiratorischer, neurogener, myogener und endothelialer Kontrollmechanismen zu beschreiben. In der vorliegenden Studie konnten keine signifikanten Veränderungen der Durchblutungsregulation durch einmalige Laserstimulation am Punkt Neiguan (PC6) induziert werden. Dennoch führte die Intervention in der Tendenz zu relativen Steigerungen neurogener und myogener Einflüsse. Die Ergebnisse demonstrieren das Potential der Wavelet Transformation zur Evaluation zugrunde liegender mikrovaskulärer Mechanismen. Die Anwendung dieser Methode im Rahmen randomisierter, kontrollierter Studien erscheint mit dem

Ziel der Entwicklung mechanismusbasierter Therapieansätze sinnvoll und weiterführend. Gegenstand von Studie III war die Quantifizierung spezifischer Akuteffekte von Laserakupunktur am Neiguan-Punkt (PC6) auf die autonome Regulation bei gesunden Probanden. Unter Berücksichtigung internationaler Richtlinien zur standardisierten Datenerhebung und -analyse sowie eigener Arbeiten (Bürklein et al. 2006) wurden treatmentkorrelierte Veränderungen der sympathischen und parasympathischen Aktivität mittels Kurzeitanalysen der Herzfrequenzvariabilität (HRV) erfasst. Die Resultate der Frequenzbereichsanalyse demonstrieren insignifikante Effekte der Laserakupunktur auf das autonome Nervensystem. Die Evaluation iterativer Anwendungen sollte Gegenstand zukünftiger Forschungsbemühungen sein.

2.4 Studienmethodische Aspekte

Die Wahl einer adäquaten Kontrollbedingung stellt das methodische Hauptproblem in Akupunkturstudien dar. Im Folgenden werden relevante Studienansätze und Kontrollbedingungen zur Abschätzung der spezifischen Wirkung, der klinischen Wirksamkeit und der Wirksamkeit in der medizinischen Routineversorgung dargelegt, deren Kenntnis für die Planung, Durchführung und Interpretation von Akupunkturstudien wesentlich erscheint. Detaillierte Übersichten zu methodischen Aspekten und Fragestellungen der Akupunkturforschung finden sich in Bäcker et al. (2006), Lewith et al. (2006), Moerman et al. (2002), Paterson & Dieppe (2005) und White et al. (2001).

Zur Bestimmung der Wertigkeit therapeutischer Interventionen bedarf es zum einen der Prüfung der Spezifität („efficacy“) unter kontrollierten, klinischen Bedingungen und zum anderen der Abschätzung des Nutzens in der medizinischen Routineversorgung („effectiveness“) (Schrappe & Scriba 2006).

In der klinisch-evaluativen Forschung gilt die randomisierte, kontrollierte Studie als Standard zur Bewertung medizinischer Therapieverfahren (Schuhmacher & Schulgen 2006). In der Arzneimittelforschung verlangt der Nachweis einer spezifischen Wirkung die Evidenz für eine signifikante Überlegenheit des zu prüfenden Medikamentes gegenüber einem Placebo. Obwohl bisher keine einheitliche Definition des Placebobegriffes vorliegt (Hróbjartsson 2002, Moerman et al. 2002), bezeichnet er meist eine pharmakologisch unwirksame, indifferente Substanz in Medikamentenform (sog. Scheinmedikament) (Pschyrembel 2002). Diese Vorgehensweise der Pharmaforschung zur Prüfung spezifischer Effekte wurde auch auf die Akupunkturforschung übertragen, indem verschiedene „Placebo“-Methoden in Form von Schein- und Minimalakupunktur entwickelt wurden. Während bei der Akupunktur eine tiefe Stichtechnik an spezifischen Akupunkturpunkten erfolgt, werden bei der Scheinakupunktur Punkte genadelt,

denen nach Ansicht der TCM keine spezifische Wirksamkeit zugesprochen wird. Analog dazu werden bei der Minimalakupunktur Nichtakupunkturpunkte oberflächlich gestochen. Allerdings sind diese Verfahren keinesfalls inert, sondern weisen physiologische Eigenwirkungen auf, die sich durch die Penetration der Haut und die damit verbundene Verarbeitung des somatosensorischen Nadelreizes auf zellulärer und Organsystem-Ebene (Nerven-, Immun-, kardiovaskuläres System) erklären lassen (Bäcker et al. 2006). Je größer dieser physiologische Nadeleffekt der Kontrollintervention ausfällt, desto problematischer ist die Abschätzung des spezifischen Akupunkturerfolges. Erfolgt die Interpretation von Akupunkturstudien ausschließlich auf Grundlage spezifischer Wirkeffekte, so besteht die Gefahr einer systematischen Unterschätzung des gesamten Therapieerfolges im Sinne falsch negativer Ergebnisse. Unter methodischen Gesichtspunkten erscheint es daher sinnvoll und weiterführend, in „placebo“-kontrollierten Akupunkturstudien zusätzlich die klinische Wirksamkeit (Gesamttherapieeffekt) durch den Vergleich mit leitlinienorientierter, konventioneller Standardtherapie oder Wartelistenkontrolle zu evaluieren. In dieser Form wurden beispielsweise dreiarmlige Parallelgruppendesigns im Rahmen der ART-Studien (Akupunktur vs. Scheinakupunktur vs. Wartelistenkontrolle) bzw. GERAC-Studien (Akupunktur vs. Scheinakupunktur vs. Standardtherapie) verwendet (Witt et al. 2006a).

Die Versorgungsforschung (outcome research) hingegen hat den Transfer aus den klinischen Studien (efficacy) in die klinische bzw. ärztliche Praxis (effectiveness) zum Gegenstand (Schrappe & Scriba 2006). Hier gilt es zu prüfen, ob sich die klinisch-evaluativen Erkenntnisse im Praxisalltag sinnvoll auf ein definierbares Patientenkollektiv in einem bestimmten klinischen Setting übertragen lassen (Rothwell 2006). Die Differenz zwischen Erkenntnis und Umsetzung (effectiveness gap) wird von Lewith et al. (2006) anschaulich beschrieben: *„Efficacy is a narrow and academic interpretation of benefit and, although entirely valid, often difficult for patients and many clinicians to fully comprehend. Patients consider overall effectiveness rather than specific efficacy as the important factor in deciding about treatment [...]“*. Obwohl die Forderungen nach Intensivierung der Versorgungsforschung zunehmen (Glasgow et al. 2003, Rothwell 2006, Schrappe & Scriba 2006) ist die Datenlage zur Wirksamkeit der Akupunktur unter medizinischen Routinebedingungen zurzeit nur spärlich (Güthlin et al. 2004). Vor diesem Hintergrund und im Hinblick auf zukünftige Akupunkturforschung erscheint es zweckmäßig und notwendig, angrenzend an die klinische Forschung, vermehrt Effektivitätsstudien zu planen und durchzuführen. Zur methodischen Orientierung kann das im Rahmen der „Acupuncture in Routine Care Studies“ (ARC Studien; Modellvorhaben Akupunktur der Techniker Krankenkasse; Witt et al. 2006a) verwendete Design (Routineversorgung inklusive Akupunktur vs. alleinige Routineversorgung) herangezogen werden.

3 Sport- und bewegungsmedizinische Akupunkturanwendung

Basierend auf nationalen und internationalen Studien sowie eigenen Untersuchungen werden im Folgenden praktische und wissenschaftliche Anwendungsfelder der Akupunktur in der präventiven und rehabilitativen Sport- und Bewegungsmedizin skizziert. Hierzu zählen insbesondere die Therapie von Sportverletzungen und Sportschäden, die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit, die Unterstützung und Förderung der Regeneration, die Behandlung belastungsassoziierter Muskelschmerzen sowie die Vorbeugung von belastungsinduziertem Asthma.

3.1 Sportverletzungen und Sportschäden

Neben vielschichtigen Bemühungen zur Optimierung der körperlichen Leistungsfähigkeit stehen insbesondere Maßnahmen zur Prävention, Therapie und Rehabilitation von Sportverletzungen und Sportschäden im Interessenmittelpunkt sportmedizinisch-orthopädischer Forschung und Versorgungsleistung. Die Zahl therapiepflichtiger Sportverletzungen liegt in der BRD schätzungsweise bei 1 bis 1,5 Millionen pro Jahr, wobei Muskelverletzungen und Prellungen mit ca. 35% dominieren (Menke & Stern 1997, Rütten et al. 2005). Die Gesamtkosten für die stationäre und ambulante Behandlung von Sportverletzungen werden mit ca. 1,5 Milliarden Euro angegeben (Rütten et al. 2005).

Insgesamt zählen Krankheiten des Muskel- und Skelettsystems zu den häufigsten und kostenträchtigsten Leiden in Deutschland. Bezogen auf die Behandlungskosten nehmen sie nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (2006) mit 24,5 Milliarden Euro (10,9%) Rang drei ein. Ein Großteil dieser Kosten entfällt dabei auf Dorsopathien (3,5%) und Arthrosen (3,0%). Unter Berücksichtigung dieser Daten und den Resultaten neurobiologischer Grundlagenforschung ergeben sich hinreichend Begründungen für den komplementärtherapeutischen Einsatz der Akupunktur und ihrer verwandten Techniken zur Behandlung von Störungen sowie Erkrankungen des muskuloskeletalen Systems. Nachfolgend wird am Beispiel relevanter Schriften der aktuelle Forschungsstand zur Akupunkturtherapie bei typischen orthopädischen und sportmedizinischen Schadensbildern skizziert. Ausgewählt wurden aktuelle randomisierte, kontrollierte Studien, welche die Wirksamkeit von Akupunktur in klinischen Settings, vereinzelt auch unter Berücksichtigung spezifischer leistungsphysiologischer Fragestellungen, evaluieren.

3.1.1 *Gonarthrose*

Im Zeitraum 2004-2007 wurden 4 bedeutende Studien zur Wirksamkeit von Akupunktur sowie eine Untersuchung zur Wirksamkeit von Laserakupunktur als komplementär-therapeutische Maßnahmen bei Gonarthrose publiziert. Zur Erfassung von Behandlungseffekten auf die subjektiv wahrgenommene Schmerzintensität und gelenkspezifische physische Funktionseinschränkung wurde der Western Ontario and McMaster Universities Arthroseindex (WOMAC) herangezogen. In einer Studie von Berman et al. (2004) wurden Akupunktur, Scheinakupunktur und edukative Maßnahmen vergleichend untersucht. Nach 14 und 26 Wochen konnte durch Akupunktur an definierten Nah- und Fernpunkten eine signifikant stärkere Reduktion der Schmerzsymptomatik sowie der gelenkspezifischen Funktionseinschränkung beobachtet werden. Ebenso gelang Vas et al. (2004) der Nachweis spezifischer Akupunkturreffekte durch Nadelung definierter Punktkombinationen über einen Zeitraum von 12 Wochen. Im Einklang dazu demonstrierten Witt et al. (2005) eine signifikante Überlegenheit von Akupunktur im Vergleich zu Minimalakupunktur und Wartelistenkontrolle in der 8-Wochen-Katamnese. Allerdings waren die Gruppenunterschiede 26 und 52 Wochen nach Behandlungsende nicht mehr signifikant. Untersuchungen von Scharf et al. (2006) ergaben signifikante Reduktionen von Schmerz und körperlicher Funktionseinschränkung durch Standardtherapie inklusive Nadelstimulation im Vergleich zu alleiniger Standardtherapie in der 13- und 26-Wochen-Katamnese. Die Autoren fanden jedoch zu keinem der Erhebungszeitpunkte signifikante Unterschiede zwischen Akupunktur und Schein-Akupunktur. Keine signifikante klinische Verbesserung konnte durch 2-wöchige Laserakupunktur erzielt werden (Yurtkuran et al. 2007).

3.1.2 *Chronische Rückenschmerzen*

Brinkhaus et al. (2006) verglichen die Wirksamkeit von Akupunktur mit Minimalakupunktur und Wartelistenkontrolle bei chronischen Lumbalschmerzen. Nach 8-wöchiger Behandlung ergab sich für den Hauptzielparameter Schmerz eine signifikante Verbesserung bei Patienten mit Akupunktur und Minimalakupunktur versus Wartekontrollgruppe. Ein signifikanter Unterschied zwischen Akupunktur und Minimalakupunktur konnte nicht gezeigt werden. Ziel einer randomisierten, kontrollierten Studie plus Kohortenstudie von Witt et al. (2006b) war die Effektivitätsprüfung in der medizinischen Routineversorgung. In der 3- und 6-Monats-Katamnese erwies sich die Standardtherapie inklusive Akupunktur signifikant effektiver als die alleinige Routineversorgung. In einer weiteren Studie verglichen Thomas et al. (2006) eine 3-monatige Akupunkturtherapie mit leitlinienorientierter Routineversorgung. Im Hinblick auf die krankheitsbedingte Schmerzsymptomatik zeigte sich nach 12 und 24 Monaten eine signifikante Überlegenheit der Akupunkturgruppe. Für eine eindeutig punktspezifische Wirksamkeit von

Akupunktur bei Rückenschmerzen spricht eine Metaanalyse von Manheimer et al. (2005), die 33 randomisierte, kontrollierte Studien umfasst.

3.1.3 *Epicondylitis lateralis*

Irnich et al. (2003) evaluierten kurz- und mittelfristige punktspezifische Wirkungen von Akupunktur bei der Behandlung der Epicondylitis lateralis (Tennisellenbogen). Patienten, die mit klassischer Akupunktur behandelt wurden, zeigten nach 2 Wochen signifikant weniger Schmerzen und schmerzbedingte Funktionseinschränkungen als Patienten, die eine Scheinakupunktur erhielten. Ferner ergaben dynamometrische Messungen eine signifikant höhere muskuläre Leistungsfähigkeit in der Akupunkturgruppe beim schmerzfreien Faustschluss. Die langfristige spezifische Wirksamkeit von Akupunktur und Scheinakupunktur untersuchten Fink et al. (2002a) in einer weiteren klinischen Studie; innerhalb von 5 Wochen wurden 10 Behandlungen durchgeführt. In der 2-Wochen-Katamnese ergaben sich signifikante Verbesserungen von Bewegungs- bzw. Belastungsschmerz bei Patienten mit Akupunktur gegenüber Scheinakupunktur. Zu späteren Untersuchungen 2 Monate und 2 Jahre nach Therapieende waren Bewegungs- und Belastungsschmerz in beiden Gruppen weiterhin signifikant reduziert. Allerdings konnten zu diesen Erhebungszeitpunkten keine signifikanten Gruppenunterschiede mehr nachgewiesen werden. Fink et al. (2002b) prüften spezifische Effekte einer 5-wöchigen Akupunkturbehandlung auf die Zielparameter isometrische Maximalkraft der Unterarmextensoren sowie Schmerz und Funktionseinschränkung. Die Evaluation der Studie erfolgte 2 Wochen und 2 Monate nach Behandlungsende. Die Autoren berichten von signifikanten Verbesserungen aller Zielparameter in beiden Gruppen zu allen Nachuntersuchungszeitpunkten. Bei der 2-Wochen-Nachuntersuchung waren diese Differenzen in der Akupunkturgruppe signifikant größer als in der Kontrollgruppe. Die 2-Monate-Nachuntersuchung ergab nur für die Funktionsfähigkeit signifikante Gruppenunterschiede. Die Ergebnisse der vorliegenden Studien werden von einer systematischen Übersichtsarbeit von Trinh et al. (2004) gestützt, die auf punktspezifische, kurzfristig analgetische Akupunktoreffekte bei der Behandlung des Tennisellenbogens hinweisen.

3.1.4 *Schulter- und Nackenschmerzen*

Guerra de Hoyos et al. (2004) untersuchten spezifische Effekte von Elektroakupunktur und Scheinakupunktur bei der Therapie von Schulterschmerzen. In Bezug auf die erhobenen Zielparameter Schmerzintensität, Bewegungsausmaß, Schulterfunktion und allgemeine gesundheitsbezogene Lebensqualität zeigte sich eine signifikante Überlegenheit der Elektroakupunktur in der 7-Wochen-, 3-Monats- und 6-Monatskatamnese. Im Einklang dazu

konnten Kleinhenz et al. (1999) spezifische Akupunkturwirkungen bei sportassoziierten Schmerzen der Rotatorenmanschette nachweisen. Acht Wochen nach Behandlungsende ergaben die Resultate dieser Studie signifikante Verbesserungen der Schulterfunktion durch Verumakupunktur gegenüber Scheinakupunktur.

White et al. (2004) untersuchten die Wirksamkeit von Akupunktur bei Patienten mit chronischen Nackenschmerzen. Für den primären Zielparameter Schmerz fanden sich eine Woche nach Therapieende signifikante Reduktionen in der Akupunkturgruppe gegenüber der Scheinintervention (TENS-Placebo). Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit Untersuchungen von He et al. (2004), die punktspezifische Effekte von Akupunktur im Sinne einer signifikanten Überlegenheit gegenüber Scheinakupunktur bei Patientinnen mit chronischen Nacken- und Schulterschmerzen bis zu 3 Jahre nach Behandlungsende nachweisen konnten. Bei Patienten mit chronischen Nackenschmerzen fanden Witt et al. (2006c) signifikante Verbesserungen von Schmerz und schmerzbedingter Behinderung durch Routineversorgung inklusive Akupunkturtherapie im Vergleich zu alleiniger Routineversorgung in der 3- und 6-Monats-Katamnese. Keine signifikanten Unterschiede zwischen Akupunktur und Scheinintervention bei der Behandlung von chronischen Schulter- und Nackenschmerzen konnten in Studien von Irnich et al. (2001) und Nabeta & Kawakita (2002) nachgewiesen werden.

3.1.5 Patellofemorales Schmerzsyndrom

Zur Wirksamkeit von Akupunktur beim patellofemoralem Schmerzsyndrom (vorderer Knieschmerz; engl. anterior knee pain) liegt derzeit nur eine Untersuchung vor, die in randomisiert, kontrolliertem Studiendesign durchgeführt wurde. Die Resultate von Näslund et al. (2002) zeigen signifikante Verbesserungen der subjektiv wahrgenommenen Schmerzintensität nach Akupunktur und Minimalakupunktur sowie in der 3- und 6-Monatskatamnese wobei sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Akupunkturformen abzeichnete. Auch konnte für keines der Treatments signifikante Effekte auf gelenkspezifische Funktionsfähigkeit und einbeinige Sprungleistungsfähigkeit nachgewiesen werden.

3.2 Akupunktur und körperliche Leistungsfähigkeit

Neben ihrer Relevanz für die Optimierung wettkampforientierter Leistungsfähigkeit spielen die konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit auch unter präventivmedizinischen und rehabilitativ-therapeutischen Gesichtspunkten eine maßgebende Rolle. Im Rahmen der vielschichtigen Bemühungen um eine Verbesserung dieses Leistungsniveaus wurden auch Untersuchungen mit Akupunkturstimulation durchgeführt. In diesem Sektor stehen Studien aus den 70er Jahren zu den Einflüssen von Akupunktur auf die Ausdauerleistungsfähigkeit exemplarisch für erste Forschungsbemühungen. Allerdings sind diese Pionierarbeiten durch methodische Mängel, insbesondere im Sinne fehlender Randomisierung und fehlender oder nur unzureichend definierter Kontrollbedingungen für die Akupunkturstimulation, gekennzeichnet. In Studien von Bergsmann & Bischko (1973), Bergsmann & Kalcher (1977) und Kalcher (1977) wurden nach einmaliger bzw. repetitiver Nadelung akute und chronische Akupunkturreffekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Lungenkranken und gesunden Sportlern erforscht. Die Autoren berichten über Leistungssteigerungen im submaximalen Bereich in beiden fahrradergometrisch belasteten Gruppen. Im Gegensatz dazu fand eine Studie von Howald & Spring (1979) keine signifikanten Unterschiede zwischen Akupunktur und Scheinakupunktur bei trainierten Radfahrern und Ruderern während sportarttypischer Ergometertestung im submaximalen und maximalen Bereich. In einer vergleichsweise aktuelleren und kontrollierten Akupunkturstudie ohne Randomisierung beobachteten Yim et al. (1987) bei fahrradergometrischer Belastung eine signifikant reduzierte maximale Herzfrequenz und eine erhöhte Sauerstoffaufnahme bei Hochleistungsschwimmern nach iterativer Nadelung. Erstmals evaluierten Ehrlich & Haber (1992) Akupunkturreffekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untrainierter Probanden in einer sorgfältig angelegten randomisierten, kontrollierten Studie. Vergleichend untersucht wurden spezifische Wirkungen von Akupunktur, Placeboakupunktur sowie einer Wartekontrollbedingung bei fahrradergometrischer Belastung bis zur subjektiven Erschöpfung. Nach repetitiver Akupunkturbehandlung ergab sich eine signifikant höhere submaximale und maximale Leistungsfähigkeit, eine erhöhte Leistung im Bereich der anaeroben Schwelle sowie eine schnellere Herzfrequenzerholung nach Belastung. Als relevante Mechanismen der identifizierten, akupunkturattribuierbaren Leistungssteigerung werden von den Autoren hämodynamische und metabolische Anpassungsreaktionen angeführt. Karvelas et al. (1996) untersuchten immediate Akupunkturreffekte nach singulärer Nadelung im randomisierten, kontrollierten Crossover Design und fanden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf subjektiv wahrgenommene Beanspruchungsintensität und kardiopulmonale Leistungsfähigkeit gegenüber Scheinakupunktur und Wartekontrollliste. Hingegen weisen aktuelle fahrradergometrische Untersuchungen von Li et al. (2004) im randomisierten, kontrollierten Crossover Design auf akupunkturinduzierte Steigerungen der Maximalleistung bei

reduziertem maximalen systolischen Blutdruck hin. Der maximale myokardiale Sauerstoffbedarf, der aus dem Produkt von systolischem Blutdruck und Herzfrequenz bei Belastungsabbruch kalkuliert wurde, war ebenfalls signifikant reduziert.

Darüber hinaus beschäftigen sich drei weitere randomisierte, kontrollierte Studien mit den potentiellen Effekten von Akupunktur auf die muskuläre Leistungsfähigkeit. Toma et al. (1998) untersuchten das neuromuskuläre Antwortverhalten der Kniegelenkflexoren mittels simultaner dynamometrischer und elektromyographischer Messungen bei gesunden Sportlern. Es konnte gezeigt werden, dass eine einmalige Stimulation des M. semitendinosus durch Metallnadel zu einer signifikanten Erhöhung der myoelektrischen Aktivität führte. Hingegen blieben die dynamometrisch erfassten Parameter unverändert. Diese Ergebnisse werden teilweise durch Studien von Ludwig (2000, 2001) bestätigt, die nach einmaliger Akupunkturstimulation gesunder Sportler bzw. Rehapatienten mit vorderer Kreuzbandplastik signifikante Erhöhungen der isometrischen Maximalkraft der Kniegelenksextensoren bei gleichzeitig erhöhter muskulärer Innervation demonstrierten. Im Gegensatz hierzu konnten Toma et al. (1998) keine signifikanten Veränderungen der dynamometrisch und elektromyographisch erfassten neuromuskulären Leistungsfähigkeit der Unterarmflexoren nach singulärer Nadelung beobachten.

Insgesamt weisen die vorliegenden Untersuchungen zur leistungsfördernden Wirkung von Akupunktur eine inkonsistente Ergebnislage auf und liefern, auch teilweise bedingt durch methodische Limitationen, einen geringen Evidenzgrad. Außerdem beschränken sich die zur Zeit vorliegenden Studien zu Akupunktur und Kraftverhalten ausschließlich auf die Erforschung dynamisch-konzentrischer Kontraktionsformen, obgleich insbesondere Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) bei einer Vielzahl alltäglicher und sportmotorischer Bewegungsformen eine exponierte praktische Relevanz besitzen (Schlumberger & Schmidtbleicher 2004). Schätzungen von Güllich & Schmidtbleicher (1999) zufolge beinhalten 90% aller sportlichen Bewegungen Muskelaktionsformen im DVZ (Güllich & Schmidtbleicher 1999). Aus sportmedizinischer und trainingswissenschaftlicher Sicht erscheint somit auch die Überprüfung von Akupunkturreffekten auf reaktive Bewegungsformen sinnvoll und weiterführend. Deshalb untersucht Studie **IV** erstmalig akute Auswirkungen einer standardisierten Nadelakupunktur auf die motorische Leistungsfähigkeit im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus bei Nieder-Hochsprüngen (Drop-Jump) in einem randomisierten, kontrollierten Crossover Design. In Bezug auf die Zielparameter Bodenkontaktzeit, maximale Sprunghöhe und myoelektrische Aktivität der Arbeitsmuskulatur zeigten sich keine signifikanten Veränderungen. Dennoch führt die Akupunkturstimulation in der Tendenz zu einer relativen Verkürzung der Bodenkontaktzeiten bei gleichzeitig erhöhter muskulärer Innervation. Die abschließende Beurteilung des identifizierten Akupunktur-Potentials zur Optimierung reaktiven Bewegungsverhaltens sollte neben Akuteffekten auch Auswirkungen repetitiver Nadelung im

Rahmen kontrollierter Studien mit stratifizierter Randomisierung nach sportmotorischer Leistungsfähigkeit mit einbeziehen.

3.3 Regeneration und Übertraining

Jede zielorientierte, systematische Beeinflussung der individuellen Leistungsentwicklung basiert auf dem gezielten Wechsel von Belastung und Regeneration (Barnett 2006). Bei inadäquatem Verhältnis von Belastungs- und Regenerationsphasen kann es zu Überlastungszuständen bis hin zum Übertrainingssyndrom kommen (Baumert et al. 2006). Unter Regeneration werden Prozesse verstanden, die zur Wiederherstellung der körperlichen, geistigen und seelischen Leistungsfähigkeit nach psychophysischer Belastung führen (Quade & Stele 1992). Das Ausmaß der Regeneration wird dabei maßgeblich durch metabolische, neuroendokrine, immunologisch-enzymatische, neurovegetative und psychologische Faktoren determiniert (Budgett 1998). Unzureichender Metabolitenabbau, Verschlechterung des Immunstatus sowie erhöhte Konzentrationen von Stresshormonen nach intensiver körperlicher Belastung (Hausmann et al. 2007, Pedersen et al. 1998) gehen mit einer entsprechenden Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit und einem erhöhtem Risiko für Infektionskrankheiten einher (Gleeson et al. 1999). In diesem Zusammenhang liefern einige wenige wissenschaftliche Untersuchungen Hinweise, dass die Regenerationsphase bzw. spezifische physiologische Regenerationsvorgänge möglicherweise durch Akupunkturstimulation positiv beeinflusst werden können. Lin et al. (1995) berichten in ihrer kontrollierten Studie ohne Randomisierung von signifikanten Steigerungen der Sauerstoffaufnahme und Reduktionen der Blutlaktatkonzentration 5 Minuten und 30 Minuten nach standardisierter Fahrradergometrie durch Ohrakupressur. Ziel einer kontrollierten, randomisierten Studie von Akimoto et al. (2003) war es, akute Einflüsse von Elektroakupunktur auf das immunologische und endokrine System bei Hochleistungsfußballerinnen während einer 6-tägigen Wettkampfperiode zu evaluieren. In der Akupunkturgruppe zeigten sich signifikant höhere Immunglobulin A-Konzentrationen und signifikant niedrigere Kortisolkonzentrationen gegenüber der Kontrollgruppe ohne Akupunktur. Ebenso demonstrieren Resultate von Ehrlich & Haber (1992) signifikant kürzere Erholungszeiten der Herzfrequenz nach fahrradergometrischer Belastung und verweisen damit auf eine mögliche Beeinflussung des Ausprägungsgrades der Regenerationsfähigkeit durch Akupunkturstimulation.

Zur Beurteilung der Regenerationsfähigkeit und Diagnostik von Überlastungs- und Übertrainingzuständen kommen neben metabolischen, hormonellen, kardiovaskulären und neurovegetativen Parametern zunehmend psychologische Verfahren zum Einsatz (Filaire et al. 2004, Urhausen & Kindermann 2002). Studien, die unter Verwendung des standardisierten psychometrischen Fragebogens POMS (Profile of Mood States) die aktuelle emotionale

Befindlichkeit bei Sportlern evaluierten, konstatierten negative Veränderungen der Stimmungslage bei inadäquat umfangreicher und intensiver körperlicher Belastung (O'Connor & Puetz 2005). Aktuelle Untersuchungen von Akimoto et al. (2003) geben Anlass zu der Annahme, dass diesen negativen Auswirkungen hoher Trainings- und Wettkampfbelastungen durch Akupunktur entgegengewirkt werden kann. Die Autoren berichten von positiven Veränderungen des POMS in Richtung des sogenannten typischen „Eisberg-Profiles“ mit hohen Werten in der Dimension „Tatendrang“ aber niedrigen Scores für „Müdigkeit“, „Niedergeschlagenheit“ und „Missmut“. In diesem Kontext weisen Studien von Filaire et al. (2001) darauf hin, dass das typische „Eisbergprofil“ des POMS in Zusammenhang mit einem hohen sportmotorischen Leistungsniveau steht. Angrenzend an eine mögliche Anwendbarkeit von Akupunktur in der Prävention und Therapie von Überlastungs- und Übertrainingszuständen liefern diese Ergebnisse Hinweise auf das Potential der Akupunktur zur Steigerung des sportlichen Leistungsniveaus im Sinne spezifischer oder unspezifischer psychologischer Wirkeffekte.

Zusammenfassend liegen zu den Einflüssen von Akupunktur auf Regenerationsprozesse nur vereinzelt Studien vor. Aufgrund des hier thematisierten geringen Evidenzgrades sollten wissenschaftliche Folgestudien über die möglichen Effekte von Akupunktur auf physiologische und psychologische Regenerationsprozesse prüfen, ob diese zu einer kurz- und/oder langfristigen Optimierung der körperlichen Leistungsfähigkeit beitragen könnten. In diesem Kontext erscheinen Fragestellungen zur emotionell-vegetativen Regulation von besonderem Interesse. Da Überlastungs- und Übertrainingszustände infolge intensiver körperlicher Beanspruchung durch neurovegetative Störungen im Sinne sympathischer oder parasympathischer Dominanz gekennzeichnet sein können (Baumert et al. 2006, Hynynen et al. 2006, Portier et al. 2001), wäre auch hier eine Anwendbarkeit von Akupunktur aufgrund ihrer potentiell modulierenden Wirkung auf das vegetative Nervensystem unter präventiven und therapeutischen Aspekten denkbar.

3.4 Belastungsinduzierter Muskelschmerz und Muskelkater

Im Zusammenhang mit körperlicher Belastung lassen sich mindestens zwei verschiedene Formen von Schmerzen distinguieren: 1) Muskelschmerz während der Belastung und 2) Muskelkater (verzögerter Muskelschmerz nach Belastung; engl. delayed-onset muscle soreness; DOMS) (Miles & Clarkson 1994). Gemäß Untersuchungen von Cook et al. (1997, 1998), O'Connor & Cook (2001) und Nosaka et al. (2002) an gesunden Probanden treten lokale Muskelschmerzen im Bereich der Arbeitsmuskulatur bei Belastungen von mittlerer bis hoher Intensität auf. Nach Ansicht einiger Autoren wird das maximale sportmotorische Leistungsniveau diverser Disziplinen maßgeblich durch die Fähigkeit bestimmt, diese Art von

Belastungsschmerzen zu tolerieren (Anshel et al. 1994, Cook et al. 1997). Unter Berücksichtigung der analgetischen Wirkung von Akupunktur und entsprechenden Studien von Barlas et al. (2006) und Zaslowski et al. (2003), die positive Effekte auf die subjektive Schmerzwahrnehmung im Sinne einer signifikant erhöhten Schmerzschwelle (engl. pain threshold; PT) zeigen, ergeben sich Hinweise auf mögliche Mechanismen, die einer durch Akupunktur induzierbaren Leistungssteigerung zu Grunde liegen könnten. Der wissenschaftliche Nachweis für diese Hypothese steht allerdings noch aus. Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass Akupunkturreffekte auf die experimentell erfasste Schmerzschwelle bisher nur in Ruhe untersucht wurden. Da subjektive Schmerzwahrnehmungen unter Ruhebedingungen jedoch nur bedingt Aussagen über die Fähigkeit der Schmerztoleranz während Belastung zulassen (Cook et al. 1997), sollten Akupunkturwirkungen auf die Schmerzschwelle auch im Kontext körperlicher Belastung untersucht werden.

Bei Muskelkater handelt es sich um einen verzögerten, lokalen Muskelschmerz, der üblicherweise 24-48 Stunden nach intensiven mechanischen oder metabolischen Beanspruchungen auftritt (Böning 2000, Connolly et al. 2003). Hier sind Bewegungsformen mit einem hohen Anteil an exzentrischer Muskelaktivität (z.B. Laufen, Sprünge, spezifisches Krafttraining) sowie erschöpfende Ausdauerbelastungen (z.B. Marathonlauf) zu nennen. Die Schmerzsymptomatik, die circa eine Woche anhält, wird von Leistungseinbußen, Kraftverlust, reduzierter Gelenkbeweglichkeit und erhöhter Kreatinkinase begleitet (Bakhtary et al. 2007, Miles & Clarkson 1994). In der Behandlung von Muskelkater wäre – ergänzend zu medikamentöser und physikalischer Behandlung (Smith et al. 1994, Tokmakidis et al. 2003) – ein weiteres denkbare Anwendungsfeld für die Akupunkturtherapie zu sehen. Allerdings liegen zu dieser Thematik bisher nur zwei wissenschaftliche Untersuchungen vor, die ferner inkonsistente Ergebnisse aufweisen. Lin & Yang (1999) verglichen die Wirksamkeit von Akupunktur mit einer Wartelistenkontrolle bei experimentell induziertem Muskelkater. 72 Stunden nach Belastung zeigten sich signifikante Reduktionen der subjektiv wahrgenommenen Schmerzintensität in der Akupunkturgruppe versus Wartelistenkontrolle, wohingegen die Kreatinkinase unverändert blieb. Diese Ergebnisse im Sinne positiver Veränderungen der Schmerzsymptomatik konnten in einer randomisierten, kontrollierten Studie von Barlas et al. (2000) nicht bestätigt werden.

3.5 Belastungsinduziertes Asthma

Asthma ist mit einer geschätzten Prävalenz von 10% die häufigste chronische Erkrankung im Kindes- und Jugendalter und wird bei ca. 50-90% der Betroffenen durch körperliche Anstrengung ausgelöst (ISAAC Steering Committee 1998, Gotshall 2002, Tan & Spector 1998). Das sogenannte belastungsinduzierte Asthma (engl. exercise-induced Asthma; EIA) ist durch eine vorübergehende Atemwegsobstruktion auf Basis bronchialer Hyperreaktivität gekennzeichnet und tritt selten während, sondern meist nach körperlicher Belastung auf (Anderson et al. 2000, Storms 2003). Hiervon sind schätzungsweise 10% der Gesamtbevölkerung und bis zu 50% aktiver Sportler ohne diagnostizierbares chronisches Asthma bronchiale betroffen (Parsons et al 2005, Storms 2003). Bei unzureichender medikamentöser bzw. nichtmedikamentöser Kontrolle kann es aufgrund zunehmender Vermeidung körperlicher Anstrengungen zu physischen, funktionalen und psychosozialen Beeinträchtigungen kommen (Worth et al. 2000). Im Hinblick auf relevante Behandlungsmaßnahmen ist die Prävention einer belastungsinduzierten Bronchialobstruktion als Primärziel anzusehen (Tan & Spector 1998). Hier kommen neben nichtmedikamentösen Interventionen wie beispielsweise gezielte körperliche Aktivität und Patientenschulung zunehmend prophylaktisch medikamentöse Therapien zum Einsatz, die in ihrer Anwendung allerdings nicht ohne Risiko sind (Anderson 2004, 2006; Worth et al. 2000). In diesem Zusammenhang und im Kontext eines erweiterten Therapieansatzes bei Asthma bronchiale gewinnen komplementärmedizinische Verfahren zunehmend an Beachtung (Ng et al. 2003, Slader et al. 2006). In Anlehnung an die amerikanischen National Institutes of Health (NIH 1998) ergibt sich speziell für die Akupunktur eine Indikation als Ergänzung zur leitlinienorientierten Standardbehandlung. Dennoch zeigt sich aufgrund methodischer Einschränkungen vorliegender Untersuchungen eine teilweise kontroverse Ergebnislage in Bezug auf die Wirksamkeit der Akupunktur in der Behandlung von Asthma bronchiale (Martin et al. 2002). Speziell bei der Behandlung von Anstrengungsasthma besteht eine noch weitaus geringere Evidenz. Zurzeit liegen nur vier Veröffentlichungen randomisierter, kontrollierter Studien zu Akuteffekten von Akupunktur vor, die ferner inhomogene Ergebnisse aufweisen. Eine von Fung et al. (1986) publizierte Studie belegt im Vergleich zur Scheinakupunktur signifikante Verbesserungen verschiedener Lungenfunktionsparameter bei pädiatrischen Patienten mit Nadelakupunktur. Keine signifikanten Einflüsse von Akupunktur und Laserakupunktur auf die Lungenfunktion bei Anstrengungsasthma von Kindern und Erwachsenen konnten in Untersuchungen von Chow et al. (1983), Gruber et al. (2002) und Morton et al. (1993) nachgewiesen werden. Weiterführende Studien zum Wirksamkeitsnachweis von Akupunktur bei belastungsinduziertem Asthma mit Fokussierung auf

eine nachhaltige Förderung der Partizipation an präventiven und rehabilitativen Sport- und Bewegungsangeboten erscheinen wünschenswert und notwendig.

4 Fazit und Ausblick

Akupunktur ist ein komplementärmedizinisches Verfahren, das aufgrund steigender Nachfrage und Inanspruchnahme zunehmend an medizinischer und soziökonomischer Relevanz gewinnt. Dieser Entwicklung sollte auch aus sportmedizinischer Sicht Rechnung getragen werden. Basierend auf nationalen und internationalen Studien sowie eigenen Untersuchungen skizziert die vorliegende Arbeit Anwendungsfelder und Forschungsperspektiven in der präventiven und rehabilitativen Sportmedizin. Grundlagenuntersuchungen zu den physiologischen Wirkmechanismen und methodisch hochwertige klinische Studien liefern eine hinreichende Evidenz für den Einsatz der Akupunktur als analgetisch wirksames Verfahren zur Behandlung sportassoziierter Störungen des Muskel- und Skelettsystems. Sinnvoll wäre hier eine Ausweitung der Fragestellung auf typische akute Sportverletzungen wie Kontusionen, Distorsionen, Rupturen und Luxationen, deren frühzeitige und adäquate Versorgung einen wichtigen Stellenwert zur Prävention chronischer Überlastungsschäden einnimmt.

Einige erste Forschungsbemühungen liefern Hinweise auf das Potential der Akupunktur zur Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit und Krafftigkeiten (vgl. Studie **IV**). Aufgrund der unklaren Evidenzlage sind weitere Untersuchungen notwendig. Folgerichtig wäre auch die Evaluation von Akupunkturergebnissen auf die Bewegungskoordination. Angrenzend an Studien zur Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit bei Gesunden bedarf es künftiger Forschungsarbeiten zur Überprüfung der klinischen Relevanz im Rahmen erweiterter rehabilitativer Therapieansätze. Neben der Fokussierung auf Akuteffekte ist eine stärkere Konzentration auf Langzeitwirkungen indiziert.

Ebenso ist die Evidenz zu den Einflüssen von Akupunktur auf physiologische und psychologische Regenerationsprozesse nur in Einzelfällen deutlich. Wissenschaftliche Folgestudien sollten prüfen, ob über eine potentielle Verbesserung der Regeneration durch Akupunktur kurz- und/oder langfristige Steigerungen der körperlichen Leistungsfähigkeit erreicht werden könnten. In diesem Kontext erscheinen Untersuchungen zur emotionell-vegetativen Regulation von besonderem Interesse. Hier eröffnet die in Publikation **II** dargestellte Methode der Herzfrequenzvariabilitätsanalyse vielfältige Perspektiven für die Akupunkturforschung.

Darüber hinaus müssten Studien zu den Effekten von Akupunktur auf belastungsassoziierte Muskelschmerzen zukünftig Berücksichtigung finden. Postulierte Akupunkturwirkungen im

Sinne einer Hypoalgesie liefern Hinweise auf mögliche Mechanismen, die einer durch Akupunktur induzierbaren Leistungssteigerung zugrunde liegen könnten. Akupunkturwirkungen auf die individuelle Schmerzschwelle sollten im Kontext körperlicher Belastung überprüft und im Hinblick auf eine mögliche Leistungsoptimierung evaluiert werden. Zugleich wäre in der Behandlung von Muskelkater ein weiteres Forschungs- und Anwendungsfeld für die Akupunkturtherapie zu sehen.

Ein zusätzliches wichtiges Forschungsfeld konstituiert die Prävention einer belastungsinduzierten Bronchialobstruktion (Belastungsasthma). Studien zum Wirksamkeitsnachweis von Akupunktur bei belastungsinduziertem Asthma sollten prüfen, ob ein Abbau psychologischer Angstbarrieren vor körperlicher Belastung zu einer nachhaltigen Förderung der Partizipation an präventiven und rehabilitativen Sport- und Bewegungsangeboten beitragen könnte.

In den skizzierten sportmedizinischen Anwendungsfeldern besteht ein erhebliches Forschungsdesiderat für die Laserakupunktur bezüglich ihrer Wirksamkeit. Ferner sind die physiologischen Mechanismen dieser Methode bisher nur unzureichend untersucht. Außerdem fehlen vergleichende Studien zwischen Akupunktur und Laserakupunktur im Hinblick auf physiologische Wirkmechanismen sowie zur Wirksamkeitsprüfung in klinischen und sportmedizinischen Settings. Obwohl einige erste Studien zerebrale, endorphinerge und mikrovaskuläre Effekte (Veröffentlichung [1]) zeigen, die mit denen der Nadelakupunktur vergleichbar sind, bedarf es vor einem gezielten, mechanismusbasiertem Einsatz in der Sportmedizin der Klärung dieser Forschungsfragen. Entsprechende methodische Anhaltspunkte bieten die mit [2], [3] und [4] gekennzeichneten Publikationen.

5 Literatur

- Agelink MW, Sanner D, Eich H, Pach J, Bertling R, Lemmer W, Klieser E, Lehmann E. Beeinflusst Akupunktur die autonom kardiale Regulation bei Patienten mit leichten depressiven Episoden oder Angststörungen? - Eine randomisierte, plazebokontrollierte Verlaufsstudie. *Fortschr Neurol Psychiatr.* 2003;71(3):141-49.
- 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.
- Akimoto T, Nakahori C, Aizawa K, Kimura F, Fukubayashi T, Kono I. Acupuncture and responses of immunologic and endocrine markers during competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(8):1296-302.
- Al-Awami M, Schillinger M, Gschwandtner ME, Maca T, Haumer M, Minar E. Low level laser treatment of primary and secondary Raynaud's phenomenon. *Vasa.* 2001;30(4):281-4.
- Almeida-Lopes L, Rigau J, Zangaro RA, Guidugli-Neto J, Jaeger MM. Comparison of the low level laser therapy effects on cultured human gingival fibroblasts proliferation using different irradiance and same fluence. *Lasers Surg Med.* 2001;29(2):179-84.
- Anderson SD, Daviskas E. The mechanism of exercise-induced asthma is ... *J Allergy Clin Immunol.* 2000;106(3):453-9.
- Anderson SD. Single-dose agents in the prevention of exercise-induced asthma: a descriptive review. *Treat Respir Med.* 2004;3(6):365-79.
- Anderson SD, Caillaud C, Brannan JD. Beta2-agonists and exercise-induced asthma. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2006;31(2-3):163-80.
- Andersson S. The functional background in acupuncture effects. *Scand J Rehabil Med Suppl.* 1993;29:31-60.
- Andersson S, Lundeberg T. Acupuncture--from empiricism to science: functional background to acupuncture effects in pain and disease. *Med Hypotheses.* 1995;45(3):271-81.
- Anshel MH, Russell KG. Effect of aerobic and strength training on pain tolerance, pain appraisal and mood of unfit males as a function of pain location. *J Sports Sci.* 1994;12(6):535-47.
- Astin JA, Marie A, Pelletier KR, Hansen E, Haskell WL. A review of the incorporation of complementary and alternative medicine by mainstream physicians. *Arch Intern Med.* 1998;158(21):2303-10.
- Azevedo LH, de Paula Eduardo F, Moreira MS, de Paula Eduardo C, Marques MM. Influence of different power densities of LILT on cultured human fibroblast growth : a pilot study. *Lasers Med Sci.* 2006;21(2):86-9.
- Bäcker M, Gareus IK, Knoblauch NT, Michalsen A, Dobos GJ. Akupunktur in der Schmerztherapie – Hypothese zu adaptiven Prozessen. *Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd.* 2004;11(6):335-45.

- Bäcker M, Dobos GJ. Psychophysiologische Wirkmechanismen von Akupunktur in der Behandlung von Schmerzen. *Dt Ztschr f Akup.* 2006;49(3):6-17.
- Bäcker M, Tao I, Dobos GJ. Akupunktur – quo vadis? *Dtsch Med Wochenschr.* 2006;131(10):506-11.
- Baek YH, Choi DY, Yang HI, Park DS. Analgesic effect of electroacupuncture on inflammatory pain in the rat model of collagen-induced arthritis: mediation by cholinergic and serotonergic receptors. *Brain Res.* 2005;1057(1-2):181-5.
- Bakhtiary AH, Safavi-Farokhi Z, Aminian-Far A. Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *Br J Sports Med.* 2007;41(3):145-8.
- Baldry P. The integration of acupuncture within medicine in the UK--the British Medical Acupuncture Society's 25th anniversary. *Acupunct Med.* 2005;23(1):2-12.
- Barlas P, Robinson J, Allen J, Baxter GD. Lack of effect of acupuncture upon signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Clin Physiol.* 2000;20(6):449-56.
- Barlas P, Ting SL, Chesterton LS, Jones PW, Sim J. Effects of intensity of electroacupuncture upon experimental pain in healthy human volunteers: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Pain.* 2006;122(1-2):81-9.
- Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med.* 2006;36(9):781-96.
- Baron R, Jänig W. Schmerzsyndrome mit kausaler Beteiligung des Sympathikus. *Anaesthesist.* 1998;47(1):4-23.
- Basford JR, Sheffield CG, Harmsen WS. Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low-intensity Nd:YAG laser irradiation on musculoskeletal back pain. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(6):647-52.
- Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clin J Sport Med.* 2006;16(5):412-7.
- Bergsmann O, Bischko J. Increase in body capacity due to acupuncture stimulation as assessed by pulse-controlled ergometry. *Am J Acupunct.* 1973;1:200-2.
- Bergsmann O, Kalcher G. Akupunktur und Leistungsfähigkeit – klinisch-ergometrische Untersuchung. *Ehk.* 1977;11:558-60.
- Berman BM, Lao L, Langenberg P, Lee WL, Gilpin AM, Hochberg MC. Effectiveness of acupuncture as adjunctive therapy in osteoarthritis of the knee: a randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 2004;141(12):901-10.
- Biella G, Sotgiu ML, Pellegata G, Paulesu E, Castiglioni I, Fazio F. Acupuncture produces central activations in pain regions. *Neuroimage.* 2001;14:60-6.
- Bihlmaier S. *Die Akupunktur.* Berlin: Springer, 2003.
- Bjordal JM, Johnson MI, Iversen V, Aimbire F, Lopes-Martins RA. Photoradiation in acute pain: a systematic review of possible mechanisms of action and clinical effects in randomized placebo-controlled trials. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(2):158-68.

- Böning D. Muskelkater. *Dtsch Z Sportmed.* 2000;51(2):63-4.
- Brinkhaus B, Witt CM, Jena S, Linde K, Streng A, Wagenpfeil S, Irnich D, Walther HU, Melchart D, Willich SN. Acupuncture in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Arch Intern Med.* 2006;166(4):450-7.
- Brosseau L, Welch V, Wells G, Tugwell P, de Bie R, Gam A, Harman K, Shea B, Morin M. Low level laser therapy for osteoarthritis and rheumatoid arthritis: a metaanalysis. *J Rheumatol.* 2000;27(8):1961-9.
- Budgett R. Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *Br J Sports Med.* 1998;32(2):107-10.
- Burdon RH. Superoxide and hydrogen peroxide in relation to mammalian cell proliferation. *Free Radic Biol Med.* 1995;18(4):775-94.
- Carlsson C. Acupuncture mechanisms for clinically relevant long-term effects--reconsideration and a hypothesis. *Acupunct Med.* 2002;20(2-3):82-99.
- Chao DM, Shen LL, Tjen-A-Looi S, Pitsillides KF, Li P, Longhurst JC. Naloxone reverses inhibitory effect of electroacupuncture on sympathetic cardiovascular reflex responses. *Am J Physiol: Heart Circ Physiol.* 1999;276:H2127-34.
- Chen AC, Liu FJ, Wang L, Arendt-Nielsen L. Mode and site of acupuncture modulation in the human brain: 3D (124-ch) EEG power spectrum mapping and source imaging. *Neuroimage.* 2006;29(4):1080-91.
- Chen XH, Geller EB, Adler MW. Electrical stimulation at traditional acupuncture sites in periphery produces brain opioid-receptor-mediated antinociception in rats. *J Pharmacol Exp Ther.* 1996;277(2):654-60.
- Chow OK, So SY, Lam WK, Yu DY, Yeung CY. Effect of acupuncture on exercise-induced asthma. *Lung.* 1983;161(6):321-6.
- Cho ZH, Chung SC, Jones JP, Park JB, Park HJ, Lee HJ, Wong EK, Min BI. New findings of the correlation between acupoints and corresponding brain cortices using functional MRI. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1998;95(5):2670-3.
- Comunetti A, Laage S, Schiessl N, Kistler A. Characterisation of human skin conductance at acupuncture points. *Experientia.* 1995;51(4):328-31.
- Connolly DA, Sayers SP, McHugh MP. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2003;17(1):197-208.
- Cook DB, O'Connor PJ, Eubanks SA, Smith JC, Lee M. Naturally occurring muscle pain during exercise: assessment and experimental evidence. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(8):999-1012.
- Cook DB, O'Connor PJ, Oliver SE, Lee Y. Sex differences in naturally occurring leg muscle pain and exertion during maximal cycle ergometry. *Int J Neurosci.* 1998;95(3-4):183-202.
- Ebneshahidi NS, Heshmatipour M, Moghaddami A, Eghtesadi-Araghi P. The effects of laser acupuncture on chronic tension headache--a randomised controlled trial. *Acupunct Med.* 2005;23(1):13-8.

- Ehrlich D, Haber P. Influence of acupuncture on physical performance capacity and haemodynamic parameters. *Int J Sports Med.* 1992;13(6):486-91.
- Ernst M, Lee MH. Sympathetic effects of manual and electrical acupuncture of the Tsusanli knee point: comparison with the Hoku hand point sympathetic effects. *Exp Neurol.* 1986;94(1):1-10.
- Filaire E, Bernain X, Sagnol M, Lac G. Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol.* 2001;86(2):179-84.
- Filaire E, Legrand B, Lac G, Pequignot JM. Training of elite cyclists: effects on mood state and selected hormonal responses. *J Sports Sci.* 2004;22(11-12):1025-33.
- Fink M, Wolkenstein E, Karst M, Gehrke A. Acupuncture in chronic epicondylitis: a randomized controlled trial. *Rheumatology (Oxford).* 2002a;41(2):205-9.
- Fink M, Wolkenstein E, Luennemann M, Gutenbrunner C, Gehrke A, Karst M. Chronic epicondylitis: effects of real and sham acupuncture treatment: a randomised controlled patient- and examiner-blinded long-term trial. *Forsch Komplementarmed Klass Naturheilkd.* 2002b;9(4):210-5.
- Fink M, Rollnik JD, Bijak M, Borstadt C, Dauper J, Guergueltcheva V, Dengler R, Karst M. Needle acupuncture in chronic poststroke leg spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(4):667-72.
- Finkel T. Redox-dependent signal transduction. *FEBS Lett.* 2000;476(1-2):52-4.
- Fisher P, Ward A. Complementary medicine in Europe. *BMJ.* 1994;309(6947):107-11.
- Flitney FW, Megson IL. Nitric oxide and the mechanism of rat vascular smooth muscle photorelaxation. *J Physiol.* 2003;550(3):819-28.
- Fung KP, Chow OK, So SY. Attenuation of exercise-induced asthma by acupuncture. *Lancet.* 1986;2(8521-22):1419-22.
- Garavello-Freitas I, Baranauskas V, Joazeiro PP, Padovani CR, Dal Pai-Silva M, da Cruz-Hofling MA. Low-power laser irradiation improves histomorphometrical parameters and bone matrix organization during tibia wound healing in rats. *J Photochem Photobiol B.* 2003;70(2):81-9.
- Glasgow RE, Lichtenstein E, Marcus AC. Why don't we see more translation of health promotion research to practice? Rethinking the efficacy-to-effectiveness transition. *Am J Public Health.* 2003;93(8):1261-7.
- Gleeson M, McDonald WA, Pyne DB, Cripps AW, Francis JL, Fricker PA, Clancy RL. Salivary IgA levels and infection risk in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(1):67-73.
- Gotshall RW. Exercise-induced bronchoconstriction. *Drugs.* 2002;62(12):1725-39.
- Gruber W, Eber E, Malle-Scheid D, Pflieger A, Weinhandl E, Dorfer L, Zach MS. Laser acupuncture in children and adolescents with exercise induced asthma. *Thorax.* 2002;57(3):222-5.

- Guerra de Hoyos JA, Andres Martin Mdel C, Bassas y Baena de Leon E, Vigara Lopez M, Molina Lopez T, Verdugo Morilla FA, Gonzalez Moreno MJ. Randomised trial of long term effect of acupuncture for shoulder pain. *Pain*. 2004;112(3):289-98.
- Gupta AK, Filonenko N, Salansky N, Sauder DN. The use of low energy photon therapy (LEPT) in venous leg ulcers: a double-blind, placebo-controlled study. *Dermatol Surg*. 1998;24(12):1383-6.
- Güllich A, Schmidbleicher D. Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed*. 1999;50(7+8):223-234.
- Güthlin C, Lange O, Walach H. Measuring the effects of acupuncture and homoeopathy in general practice: an uncontrolled prospective documentation approach. *BMC Public Health*. 2004;4:6.
- Haker E, Egekvist H, Bjerring P. Effect of sensory stimulation (acupuncture) on sympathetic and parasympathetic activities in healthy subjects. *J Auton Nerv Syst*. 2000;79(1):52-9.
- Han JS. Acupuncture: neuropeptide release produced by electrical stimulation of different frequencies. *Trends Neurosci*. 2003;26(1):17-22.
- Härtel U, Volger E. Inanspruchnahme und Akzeptanz klassischer Naturheilverfahren und alternativer Heilmethoden in Deutschland – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsstudie. *Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd*. 2004 (6):327-34.
- Hausmann MF, Vleck CM, Farrar ES. A laboratory exercise to illustrate increased salivary cortisol in response to three stressful conditions using competitive ELISA. *Adv Physiol Educ*. 2007;31(1):110-5.
- He D, Veiersted KB, Hostmark AT, Medbo JI. Effect of acupuncture treatment on chronic neck and shoulder pain in sedentary female workers: a 6-month and 3-year follow-up study. *Pain*. 2004;109(3):299-307.
- Heine H. Anatomical structure of acupoints. *J Tradit Chin Med*. 1988;8(3):207-12.
- Heine H. Funktionelle Anatomie der Akupunkturpunkte Dickdarm 4 (Di4, Hegu) und Magen 36 (Ma36, Zusanli). *Dt Ztschr f Akup*. 2001;44(3):168-175.
- Hirschl M, Katzenschlager R, Ammer K, Melnizky P, Rathkolb O, Kundi M. Double-blind, randomised, placebo controlled low level laser therapy study in patients with primary Raynaud's phenomenon. *Vasa*. 2002;31(2):91-4.
- Howald, H, Spring H. Beeinflussung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch Akupunktur. *Schweiz Z Sportmed*. 1979;27:81-88.
- Hróbjartsson A. What are the main methodological problems in the estimation of placebo effects? *J Clin Epidemiol*. 2002;55(5):430-5.
- Huang C, Wang Y, Han JS, Wan Y. Characteristics of electroacupuncture-induced analgesia in mice: variation with strain, frequency, intensity and opioid involvement. *Brain Res*. 2002;945(1):20-5.
- Huang ST, Chen GY, Lo HM, Lin JG, Lee YS, Kuo CD. Increase in the vagal modulation by acupuncture at neiguan point in the healthy subjects. *Am J Chin Med*. 2005;33(1):157-64.

- Hui KK, Liu J, Makris N, Gollub RL, Chen AJ, Moore CI, Kennedy DN, Rosen BR, Kwong KK. Acupuncture modulates the limbic system and subcortical gray structures of the human brain: evidence from fMRI studies in normal subjects. *Hum Brain Mapp.* 2000;9(1):13-25.
- Hwang BG, Min BI, Kim JH, Na HS, Park DS. Effects of electroacupuncture on the mechanical allodynia in the rat model of neuropathic pain. *Neurosci Lett.* 2002;320(1-2):49-52.
- Hynynen E, Uusitalo A, Konttinen N, Rusko H. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(2):313-7.
- Ikeda H, Asai T, Randic M, Murase K. Robust suppression of afferent-induced excitation in the rat spinal dorsal horn after conditioning low-frequency stimulation. *J Neurophysiol.* 1999;82(4):1957-64.
- Ikeda H, Asai T, Murase K. Robust changes of afferent-induced excitation in the rat spinal dorsal horn after conditioning high-frequency stimulation. *J Neurophysiol.* 2000;83(4):2412-20.
- Irnich D, Behrens N, Molzen H, König A, Gleditsch J, Krauss M, Natalis M, Senn E, Beyer A, Schops P. Randomised trial of acupuncture compared with conventional massage and "sham" laser acupuncture for treatment of chronic neck pain. *BMJ.* 2001;322(7302):1574-8.
- Irnich D, Bayer A. Neurobiologische Grundlagen der Akupunkturanalgesie. *Schmerz.* 2002;16(2):93-102.
- Irnich D, Karg H, Behrens N, Lang PM, Schreiber MA, Krauss M, Kröling P. Kontrollierte Studie zur Punktspezifität der Akupunktur in der Behandlung der Epicondylopathia humeri lateralis (Tennisellenbogen). *Phys Med Rehab Kuror.* 2003;13(4):215-9.
- ISAAC Steering Committee. Worldwide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Steering Committee. *Lancet.* 1998;351:1225-32.
- Kalcher G. Beeinflussung der Leistungsfähigkeit durch Akupunktur. *Dtsch Z Akup.* 1977;6:153-163.
- Kaptchuk TJ. Acupuncture: theory, efficacy, and practice. *Ann Intern Med.* 2002;136(5):374-83.
- Karlsson JO, Axelsson KL, Andersson RG. Effects of ultraviolet radiation on the tension and the cyclic GMP level of bovine mesenteric arteries. *Life Sci.* 1984;34(16):1555-63.
- Karvelas BR, Hoffman MD, Zeni AI. Acute effects of acupuncture on physiological and psychological responses to cycle ergometry. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(12):1256-9.
- Kasai S, Kono T, Yamamoto Y, Kotani H, Sakamoto T, Mito M. Effect of low-power laser irradiation on impulse conduction in anesthetized rabbits. *J Clin Laser Med Surg.* 1996;14(3):107-9.
- Kelly JP, Kaufman DW, Kelley K, Rosenberg L, Anderson TE, Mitchell AA. Recent trends in use of herbal and other natural products. *Arch Intern Med.* 2005;165(3):281-6.

- Kessler RC, Davis RB, Foster DF, Van Rompay MI, Walters EE, Wilkey SA, Kaptchuk TJ, Eisenberg DM. Long-term trends in the use of complementary and alternative medical therapies in the United States. *Ann Intern Med.* 2001;135(4):262-8.
- Khadra M, Lyngstadaas SP, Haanaes HR, Mustafa K. Effect of laser therapy on attachment, proliferation and differentiation of human osteoblast-like cells cultured on titanium implant material. *Biomaterials.* 2005;26(17):3503-9.
- Kim SK, Park JH, Bae SJ, Kim JH, Hwang BG, Min BI, Park DS, Na HS. Effects of electroacupuncture on cold allodynia in a rat model of neuropathic pain: mediation by spinal adrenergic and serotonergic receptors. *Exp Neurol.* 2005;195(2):430-6.
- Kimura K, Masuda K, Wakayama I. Changes in skin blood flow and skin sympathetic nerve activity in response to manual acupuncture stimulation in humans. *Am J Chin Med.* 2006;34(2):189-96.
- Kleinhenz J, Streitberger K, Windeler J, Gussbacher A, Mavridis G, Martin E. Randomised clinical trial comparing the effects of acupuncture and a newly designed placebo needle in rotator cuff tendinitis. *Pain.* 1999;83(2):235-41.
- Knappe V, Frank F, Rohde E. Principles of lasers and biophotonic effects. *Photomed Laser Surg.* 2004;22(5):411-7.
- Knardahl S, Elam M, Olausson B, Wallin BG. Sympathetic nerve activity after acupuncture in humans. *Pain.* 1998;75(1):19-25.
- Kuo TC, Lin CW, Ho FM. The soreness and numbness effect of acupuncture on skin blood flow. *Am J Chin Med.* 2004;32(1):117-29.
- Langevin HM, Yandow JA. Relationship of acupuncture points and meridians to connective tissue planes. *Anat Rec.* 2002;269(6):257-65.
- Lewith GT, White PJ, Kaptchuk TJ. Developing a research strategy for acupuncture. *Clin J Pain.* 2006;22(7):632-8.
- Li P, Pitsillides KF, Rendig SV, Pan HL, Longhurst JC. Reversal of reflex-induced myocardial ischemia by median nerve stimulation: a feline model of electroacupuncture. *Circulation.* 1998;97(12):1186-94.
- Li P, Ayannusi O, Reid C, Longhurst JC. Inhibitory effect of electroacupuncture (EA) on the pressor response induced by exercise stress. *Clin Auton Res.* 2004;14(3):182-8.
- Li Z, Jiao K, Chen M, Wang C. Effect of magnitopuncture on sympathetic and parasympathetic nerve activities in healthy drivers--assessment by power spectrum analysis of heart rate variability. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88(4-5):404-10.
- Li Z, Wang C, Mak AF, Chow DH. Effects of acupuncture on heart rate variability in normal subjects under fatigue and non-fatigue state. *Eur J Appl Physiol.* 2005;94(5-6):633-40.
- Lin CF, Liao JM, Tsai SJ, Chiang PY, Ting H, Tang CY, Lou KL, Hsieh LC, Wang DW, Lin TB. Depressor effect on blood pressure and flow elicited by electroacupuncture in normal subjects. *Auton Neurosci.* 2003;107(1):60-4.

- Lin JG, Hamdallah SS, Lin J-C. Investigation on the Effects of Ear Acupressure on Exercise-Induced Lactic Acid Levels and the Implications for Athletic Training. *Am J Acupunct.* 1995;23(4):309-313.
- Lin JG, Yang SH. Effects of acupuncture on exercise-induced muscle soreness and serum creatine kinase activity. *Am J Chin Med.* 1999;27(3-4):299-305.
- Litscher G, Wang L, Huber E, Nilsson G. Changed skin blood perfusion in the fingertip following acupuncture needle introduction as evaluated by laser Doppler perfusion imaging. *Lasers Med Sci.* 2002;17(1):19-25.
- Litscher G, Rachbauer D, Ropele S, Wang L, Schikora D, Fazekas F, Ebner F. Acupuncture using laser needles modulates brain function: first evidence from functional transcranial Doppler sonography and functional magnetic resonance imaging. *Lasers Med Sci.* 2004;19(1):6-11.
- Liu XG, Morton CR, Azkue JJ, Zimmermann M, Sandkuhler J. Long-term depression of C-fibre-evoked spinal field potentials by stimulation of primary afferent A delta-fibres in the adult rat. *Eur J Neurosci.* 1998;10(10):3069-75.
- Loaiza LA, Yamaguchi S, Ito M, Ohshima N. Vasodilatation of muscle microvessels induced by somatic afferent stimulation is mediated by calcitonin gene-related peptide release in the rat. *Neurosci Lett.* 2002a;333(2):136-40.
- Loaiza LA, Yamaguchi S, Ito M, Ohshima N. Electro-acupuncture stimulation to muscle afferents in anesthetized rats modulates the blood flow to the knee joint through autonomic reflexes and nitric oxide. *Auton Neurosci.* 2002b;97(2):103-9.
- Lubart R, Eichler M, Lavi R, Friedman H, Shainberg A. Low-energy laser irradiation promotes cellular redox activity. *Photomed Laser Surg.* 2005;23(1):3-9.
- Lubart R, Lavi R, Friedmann H, Rochkind S. Photochemistry and photobiology of light absorption by living cells. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(2):179-85.
- Ludwig M. Einfluss der Akupunktur auf die Leistungsfähigkeit der Quadrizepsmuskulatur. *Dt Ztschr f Akup.* 2000;2:104-107.
- Ludwig M. Verbesserung der Trainierbarkeit der Quadrizepsmuskulatur nach vorderer Kreuzbandplastik durch Akupunktur. *Dtsch Z Sportmed.* 2001;52(3):100-3.
- Ma KW. The roots and development of Chinese acupuncture: from prehistory to early 20th century. *Acupunct Med.* 1992;10(Suppl.):92-9.
- Maegawa Y, Itoh T, Hosokawa T, Yaegashi K, Nishi M. Effects of near-infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers Surg Med.* 2000;27(5):427-37.
- Manheimer E, White A, Berman B, Forys K, Ernst E. Meta-analysis: acupuncture for low back pain. *Ann Intern Med.* 2005;142(8):651-63.
- Martin J, Donaldson AN, Villarroel R, Parmar MK, Ernst E, Higginson IJ. Efficacy of acupuncture in asthma: systematic review and meta-analysis of published data from 11 randomised controlled trials. *Eur Respir J.* 2002;20(4):846-52.
- Mayer DJ, Price DD, Rafii A. Antagonism of acupuncture analgesia in man by the narcotic antagonist naloxone. *Brain Res.* 1977;121(2):368-72.

- Meleger A, Borg-Stein J. Acupuncture and Sports Medicine: A Review of Published Studies. *Medical Acupuncture* 2000;11(2): 21-24.
- Meng A. Konzeptgrundlage der traditionellen chinesischen Medizin. *Wien Med Wochenschr.* 2000;150(13-14):310-316.
- Menke W, Stern T. Typische Sportverletzungen, sportartspezifische Risiken und Vergleich mit anderen Unfallbereichen. *Versich Med.* 1997;49(2):41-44.
- Michaelis M, Jänig W. Pathophysiologische Mechanismen und Erklärungsansätze aus der tierexperimentellen Forschung. *Schmerz.* 1998;12(4):261-71.
- Miles MP, Clarkson PM. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *J Sports Med Phys Fitness.* 1994;34(3):203-16.
- Mochizuki-Oda N, Kataoka Y, Cui Y, Yamada H, Heya M, Awazu K. Effects of near-infra-red laser irradiation on adenosine triphosphate and adenosine diphosphate contents of rat brain tissue. *Neurosci Lett.* 2002;323(3):207-10.
- Moerman DE, Jonas WB. Deconstructing the placebo effect and finding the meaning response. *Ann Intern Med.* 2002;136(6):471-6.
- Morstedt G, Moebus S. Inanspruchnahme alternativer Methoden in der Medizin. Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 9. Berlin: Verlag Robert Koch Institut, 2002.
- Morton AR, Fazio SM, Miller D. Efficacy of laser-acupuncture in the prevention of exercise-induced asthma. *Ann Allergy.* 1993;70(4):295-8.
- Nabeta T, Kawakita K. Relief of chronic neck and shoulder pain by manual acupuncture to tender points--a sham-controlled randomized trial. *Complement Ther Med.* 2002;10(4):217-22.
- Naslund J, Naslund UB, Odenbring S, Lundeberg T. Sensory stimulation (acupuncture) for the treatment of idiopathic anterior knee pain. *J Rehabil Med.* 2002;34(5):231-8.
- Ng TP, Wong ML, Hong CY, Koh KT, Goh LG. The use of complementary and alternative medicine by asthma patients. *QJM.* 2003;96(10):747-54.
- Nichols AW, Harrigan R. Complementary and alternative medicine usage by intercollegiate athletes. *Clin J Sport Med.* 2006;16(3):232-7.
- NIH Consensus Conference. Acupuncture. *JAMA* 1998;280(17):1518-24.
- Nishijo K, Mori H, Yosikawa K, Yazawa K. Decreased heart rate by acupuncture stimulation in humans via facilitation of cardiac vagal activity and suppression of cardiac sympathetic nerve. *Neurosci Lett.* 1997;227(3):165-8.
- Nosaka K, Newton M, Sacco P. Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(6):920-7.
- O'Connor PJ, Cook DB. Moderate-intensity muscle pain can be produced and sustained during cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(6):1046-51.

- O'Connor PJ, Puetz TW. Chronic physical activity and feelings of energy and fatigue. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):299-305.
- Pal G, Dutta A, Mitra K, Grace MS, Amat A, Romanczyk TB, Wu X, Chakrabarti K, Anders J, Gorman E, Waynant RW, Tata DB. Effect of low intensity laser interaction with human skin fibroblast cells using fiber-optic nano-probes. *J Photochem Photobiol B.* 2007;86(3):252-61.
- Parsons JP, Mastronarde JG. Exercise-induced bronchoconstriction in athletes. *Chest.* 2005;128(6):3966-74.
- Passarella S, Ostuni A, Atlante A, Quagliariello E. Increase in the ADP/ATP exchange in rat liver mitochondria irradiated in vitro by helium-neon laser. *Biochem Biophys Res Commun.* 1988;156(2):978-86.
- Paterson C, Dieppe P. Characteristic and incidental (placebo) effects in complex interventions such as acupuncture. *BMJ.* 2005;330(7501):1202-5.
- Pearl D, Schrollinger E. Acupuncture: its use in medicine. *West J Med.* 1999;171(3):176-80.
- Pelham TW, Holt LE, Stalker R. Acupuncture in human performance. *J Strength Cond Res.* 2001;15(2):266-71.
- Philipp CM, Berlien H-P. Physikalisch-medizinische Grundlagen. *Laryngo-Rhino-Otol.* 2003;82(Suppl. 1):1-20.
- Portier H, Louisy F, Laude D, Berthelot M, Guezennec CY. Intense endurance training on heart rate and blood pressure variability in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1120-5.
- Pschyrembel. *Klinisches Wörterbuch* (259. Aufl). Berlin: Walter de Gruyter, 2002.
- Quade, Stele. Regeneration. In: Röthig P, Becker H, Carl K, Kayser D, Prohl R (Hrsg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon* (6. Aufl.). Schorndorf: Hofmann, 1992, 379.
- Raud J, Lundeberg T, Brodda-Jansen G, Theodorsson E, Hedqvist P. Potent anti-inflammatory action of calcitonin gene-related peptide. *Biochem Biophys Res Commun.* 1991;180(3):1429-35.
- Romberg H. Physikalische Grundlagen der Lasertherapie. *Dtsch Z Akup.* 2005;48(1):33-41.
- Rong PJ, Zhu B, Huang QF, Gao XY, Ben H, Li YH. Acupuncture inhibition on neuronal activity of spinal dorsal horn induced by noxious colorectal distention in rat. *World J Gastroenterol.* 2005;11(7):1011-7.
- Rosted P, Griffiths PA, Bacon P, Gravill N. Is there an effect of acupuncture on the resting EEG? *Complement Ther Med.* 2001;9(2):77-81.
- Rothwell PM. Individuelle Therapie 1: Externe Validität randomisierter kontrollierter Studien: Auf wen sind die Ergebnisse dieser Studie anwendbar? *Z Ärztl Fortbild Qual.* 2006;100(4):303-17.
- Rütten A, Abu-Omar K, Lampert T, Ziese T. Körperliche Aktivität. Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 26. Berlin: Verlag Robert Koch Institut, 2005.

- Sandberg M, Lundeberg T, Lindberg LG, Gerdle B. Effects of acupuncture on skin and muscle blood flow in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2003;90(1-2):114-9.
- Sandkühler J. Schmerzgedächtnis: Entstehung, Vermeidung und Löschung. *Deut Ärztebl.* 2001;98(42):A2725-2730.
- Sandkühler J. Neurobiologische Grundlagen des Schmerzgedächtnisses. *Psychoneuro.* 2005;31(2):77-80.
- Sapru HN, Chitravanshi VC. Responses to microinjections of endomorphin and nociceptin into the medullary cardiovascular areas. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2002;29(3):243-7.
- Schaible H.-G., Schmidt RF. Nozizeption und Schmerz. In: Schmidt RF, Thews G, Lang F (Hrsg.): *Physiologie des Menschen* (28. Aufl.). Berlin: Springer, 2000, 236-49.
- Scharf HP, Mansmann U, Streitberger K, Witte S, Kramer J, Maier C, Trampisch HJ, Victor N. Acupuncture and knee osteoarthritis: a three-armed randomized trial. *Ann Intern Med.* 2006;145(1):12-20.
- Schindl A, Schindl M, Schon H, Knobler R, Havelec L, Schindl L. Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy. *Diabetes Care.* 1998;21(4):580-4.
- Schindl M, Kerschman K, Schindl A, Schon H, Heinzl H, Schindl L. Induction of complete wound healing in recalcitrant ulcers by low-intensity laser irradiation depends on ulcer cause and size. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 1999;15(1):18-21.
- Schindl A, Heinze G, Schindl M, Pernerstorfer-Schon H, Schindl L. Systemic effects of low-intensity laser irradiation on skin microcirculation in patients with diabetic microangiopathy. *Microvasc Res.* 2002;64(2):240-6.
- Schlager A, Offer T, Baldissera I. Laser stimulation of acupuncture point P6 reduces postoperative vomiting in children undergoing strabismus surgery. *Br J Anaesth.* 1998;81(4):529-32.
- Schlumberger A, Schmidtbleicher D. Grundlagen der Kraftdiagnostik. In: Banzer W, Pfeifer K, Vogt L (Hrsg.): *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin.* Berlin: Springer, 2004, 88-106.
- Schrapppe M, Scriba PC. Versorgungsforschung: Innovationstransfer in der Klinischen Forschung. *Z Ärztl Fortbild Qual.* 2006;100(8):571-80.
- Shen E, Ma WH, Lan C. Involvement of descending inhibition in the effect of acupuncture on the splanchnically evoked potential in the orbital cortex of cat. *Sci Sin.* 1978;21(5):677-85.
- Siedentopf CM, Golaszewski SM, Mottaghy FM, Ruff CC, Felber S, Schlager A. Functional magnetic resonance imaging detects activation of the visual association cortex during laser acupuncture of the foot in humans. *Neurosci Lett.* 2002;327(1):53-6.
- Siedentopf CM, Koppelstaetter F, Haala IA, Haid V, Rhomberg P, Ischebeck A, Buchberger W, Felber S, Schlager A, Golaszewski SM. Laser acupuncture induced specific cerebral cortical and subcortical activations in humans. *Lasers Med Sci.* 2005;20(2):68-73.
- Simunovic Z (Hrsg.). *Lasers in medicine and dentistry: basic science and up-to-date clinical application of low level laser therapy: LLLT.* Rijeka: Vitagraf, 2000.

- Slader CA, Reddel HK, Jenkins CR, Armour CL, Bosnic-Anticevich SZ. Complementary and alternative medicine use in asthma: who is using what? *Respirology*. 2006;11(4):373-87.
- Smith LL, Keating MN, Holbert D, Spratt DJ, McCammon MR, Smith SS, Israel RG. The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness, creatine kinase, and neutrophil count: a preliminary report. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1994;19(2):93-9.
- Sprott H. Beeinflussung der Hautdurchblutung über den Tenderpoints bei Fibromyalgie-Patienten mittels Akupunktur - gemessen mit der Laser-Doppler-Flowmetrie. *Dtsch Z Akup*. 2002;45(1):5-8.
- Statistisches Bundesamt. Gesundheit. Ausgaben, Krankheitskosten und Personal 2004. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2006.
- Stein A, Benayahu D, Maltz L, Oron U. Low-level laser irradiation promotes proliferation and differentiation of human osteoblasts in vitro. *Photomed Laser Surg*. 2005;23(2):161-6.
- Storms WW. Review of exercise-induced asthma. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(9):1464-70.
- Stux G. Warum breitet sich die Akupunktur als Therapiemethode im Westen immer mehr aus?. *Dtsch Z Akup*. 2000;2:126-128.
- Stux G. *Akupunktur: Einführung* (6. Aufl.). Berlin: Springer, 2003.
- Takahashi T. Acupuncture for functional gastrointestinal disorders. *J Gastroenterol*. 2006;41(5):408-17.
- Tan RA, Spector SL. Exercise-induced asthma. *Sports Med*. 1998;25(1):1-6.
- Thomas KJ, MacPherson H, Thorpe L, Brazier J, Fitter M, Campbell MJ, Roman M, Walters SJ, Nicholl J. Randomised controlled trial of a short course of traditional acupuncture compared with usual care for persistent non-specific low back pain. *BMJ*. 2006;333(7569):623.
- Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Prolonged inhibition of rostral ventral lateral medullary premotor sympathetic neurons by electroacupuncture in cats. *Auton Neurosci*. 2003;106(2):119-31.
- Tokmakidis SP, Kokkinidis EA, Smilios I, Douda H. The effects of ibuprofen on delayed muscle soreness and muscular performance after eccentric exercise. *J Strength Cond Res*. 2003;17(1):53-9.
- Toma K, Conatser RR, Gilders RM, Hagerman FC. The effects of acupuncture needle stimulation on skeletal muscle activity and performance. *J Strength Cond Res*. 1998;12(4):253-257.
- Trinh KV, Phillips SD, Ho E, Damsma K. Acupuncture for the alleviation of lateral epicondyle pain: a systematic review. *Rheumatology (Oxford)*. 2004;43(9):1085-90.
- Tsuchiya K, Kawatani M, Takeshige C, Sato T, Matsumoto I. Diode laser irradiation selectively diminishes slow component of axonal volleys to dorsal roots from the saphenous nerve in the rat. *Neurosci Lett*. 1993;161(1):65-8.

- Urhausen A, Kindermann W. Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Med.* 2002;32(2):95-102.
- Vas J, Mendez C, Perea-Milla E, Vega E, Panadero MD, Leon JM, Borge MA, Gaspar O, Sanchez-Rodriguez F, Aguilar I, Jurado R. Acupuncture as a complementary therapy to the pharmacological treatment of osteoarthritis of the knee: randomised controlled trial. *BMJ.* 2004;329(7476):1216.
- Vas J, Perea-Milla E, Mendez C, Sanchez Navarro C, Leon Rubio JM, Brioso M, Garcia Obrero I. Efficacy and safety of acupuncture for chronic uncomplicated neck pain: a randomised controlled study. *Pain.* 2006;126(1-3):245-55.
- Wang JD, Kuo TB, Yang CC. An alternative method to enhance vagal activities and suppress sympathetic activities in humans. *Auton Neurosci.* 2002;100(1-2):90-5.
- White A, Ernst E. A brief history of acupuncture. *Rheumatology (Oxford).* 2004;43(5):662-3.
- White AR, Filshie J, Cummings TM. Clinical trials of acupuncture: consensus recommendations for optimal treatment, sham controls and blinding. *Complement Ther Med.* 2001;9(4):237-45.
- White P, Lewith G, Prescott P, Conway J. Acupuncture versus placebo for the treatment of chronic mechanical neck pain: a randomized, controlled trial. *Ann Intern Med.* 2004;141(12):911-9.
- Whittaker P. Laser acupuncture: past, present, and future. *Lasers Med Sci.* 2004;19(2):69-80.
- Whittaker P. Laser acupuncture and analgesia: preliminary evidence for a transient and opioid-mediated effect. In: Hamblin MR, Waynant RW, Anders J (Hrsg.): *Proceedings of SPIE -- Volume 6140 Mechanisms for Low-Light Therapy*, 2006, doi:10.1117/12.648518.
- Wiegele B, Schober G, Kuder J, Kolb FP, Irnich D. Eine neue Sensortechnik zur Messung zur Messung von elektrischen Potentialprofilen der menschlichen Haut an Akupunkturpunkten. *Forsch Komplementärmed.* 2006;13(4):227-32.
- Witt C, Brinkhaus B, Jena S, Linde K, Streng A, Wagenpfeil S, Hummelsberger J, Walther HU, Melchart D, Willich SN. Acupuncture in patients with osteoarthritis of the knee: a randomised trial. *Lancet.* 2005;366:136-43.
- Witt CM, Brinkhaus B, Willich SN. Akupunktur - Klinische Studien zur Wirksamkeit bei Patienten mit chronischen Schmerzen. *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz.* 2006a;49(8):736-42.
- Witt CM, Jena S, Selim D, Brinkhaus B, Reinhold T, Wruck K, Liecker B, Linde K, Wegscheider K, Willich SN. Pragmatic randomized trial evaluating the clinical and economic effectiveness of acupuncture for chronic low back pain. *Am J Epidemiol.* 2006b;164(5):487-96.
- Witt CM, Jena S, Brinkhaus B, Liecker B, Wegscheider K, Willich SN. Acupuncture for patients with chronic neck pain. *Pain.* 2006c;125(1-2):98-106.
- Wolfson V. The puzzle of acupuncture. *Am J Chin Med.* 2003;31(6):983-90.

- Worth H, Meyer A, Folgering H, Kirsten D, Lecheler J, Magnussen H, Pleyer K, Schmidt S, Schmitz M, Taube K, Wettengel R. Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zum Sport und koerperlichen Training bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen. *Med Klin.* 2000;95(3):123-9.
- Wu JN. A short history of acupuncture. *J Altern Complement Med.* 1996;2(1):19-21.
- Wu MT, Hsieh JC, Xiong J, Yang CF, Pan HB, Chen YC, Tsai G, Rosen BR, Kwong KK. Central nervous pathway for acupuncture stimulation: localization of processing with functional MR imaging of the brain--preliminary experience. *Radiology.* 1999;212(1):133-41.
- Wu MT, Sheen JM, Chuang KH, Yang P, Chin SL, Tsai CY, Chen CJ, Liao JR, Lai PH, Chu KA, Pan HB, Yang CF. Neuronal specificity of acupuncture response: a fMRI study with electroacupuncture. *Neuroimage.* 2002;16(4):1028-37.
- Yim M-J. Acupuncture: Preliminary report of its role as a stimulus for cardiorespiratory enhancement in swimmers. *Med Sport Sci.* 1987;24:23-29.
- Yurtkuran M, Alp A, Konur S, Ozcakir S, Bingol U. Laser acupuncture in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized controlled study. *Photomed Laser Surg.* 2007;25(1):14-20.
- Yoshimoto K, Fukuda F, Hori M, Kato B, Kato H, Hattori H, Tokuda N, Kuriyama K, Yano T, Yasuhara M. Acupuncture stimulates the release of serotonin, but not dopamine, in the rat nucleus accumbens. *Tohoku J Exp Med.* 2006;208(4):321-6.
- Zaslowski CJ, Cobbin D, Lidums E, Petocz P. The impact of site specificity and needle manipulation on changes to pain pressure threshold following manual acupuncture: a controlled study. *Complement Ther Med.* 2003;11(1):11-21.
- Zhou W, Fu LW, Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Afferent mechanisms underlying stimulation modality-related modulation of acupuncture-related cardiovascular responses. *J Appl Physiol.* 2005;98(3):872-80.
- Zimmermann M. Neurophysiologische Grundlagen von Schmerz und Schmerztherapie. *Langenbecks Arch Chir.* 1976;342:63-74.
- Zimmermann M. Neuronale Mechanismen der Schmerzchronifizierung. *Orthopäde.* 2004;33(5):515-24.

Publikationen



Short-Time Effects of Laser Needle Stimulation on the Peripheral Microcirculation Assessed by Laser Doppler Spectroscopy and Near-Infrared Spectroscopy

WINFRIED BANZER, M.D., PH.D., MARKUS HÜBSCHER, M.A., MIRIAM SEIB, M.A.,
and LUTZ VOGT, PH.D.

ABSTRACT

Objective: The aim of the present study was to evaluate immediate effects of a standardized laser needle stimulation over a defined acupuncture point on the microvascular blood flow and muscle oxygenation in the human forearm. **Background Data:** Recently, it has been shown that laser stimulation improves tissue perfusion. This is relevant since adequate blood supply is an important factor in the treatment of pain syndromes. **Methods:** The study was designed as a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Thirty-three healthy non-smoking males were randomly assigned to a control group ($n = 15$) with no laser irradiation and to an intervention group ($n = 18$) for which laser needle irradiation was performed on the right forearm at acupuncture point Pe6. Non-invasive blood flow measurements (laser Doppler spectroscopy [LDS]) were performed before, during, and after intervention. Additionally, the dynamic changes in muscle oxygenation of the m. flexor carpi ulnaris were investigated using near-infrared spectroscopy (NIRS). **Results:** Repeated measures MANOVA demonstrated a statistically significant interaction between time and group ($p = 0.034$, effect size = 0.39), indicating that peripheral blood flow was influenced by laser needle application. In contrast, tissue oxygenation was not affected by the experimental treatment. **Conclusion:** It has been demonstrated that laser needle stimulation may improve peripheral microcirculation under standardized conditions, whereas tissue oxygenation remained unchanged. Further research is required to determine the influence of various parameter settings and irradiation treatments on the peripheral microcirculation. Moreover, different acupuncture points should be investigated in order to appraise the clinical effectiveness of laserneedle stimulation.

INTRODUCTION

BIOSTIMULATORY EFFECTS of low-level laser therapy (LLLT) have been extensively reported. In animal models, there is great evidence that the application of LLLT improves microcirculation and oxygen supply.¹ Maegawa et al. investigated the response of blood flow vessels to laser irradiation *in vivo* in a rat model.² It has been shown that LLLT induces vascular relaxation, leading to an improved microcirculation. Recently, Ihsan demonstrated that gallium-aluminium-arsenide (Ga-Al-As) diode laser leads to an improved collateral circulation and microcirculation at the ligated thigh of adult rabbits.³ Helium-neon (He-Ne) irradiation of random skin flaps (RSF) in rats reduced vasospasm and induced a larger surviving surface area.⁴

Although inappropriate arterial inflow and/or venous outflow are the primary causes of necrosis,⁴ the mechanisms of photo-induced vascular relaxation are not yet fully understood. Karlsson et al. suggested that laser-induced vascular relaxation is mediated by an increase in intracellular cGMP.⁵ Furthermore, the involvement of endothelial and neural factors in laser-induced vascular relaxation has been discussed in the literature.² In clinical and experimental settings, LLLT has been proposed as a potential treatment in the management of wound healing,^{6,7} rheumatologic and musculoskeletal disorders^{8,9} and pain.¹⁰ Furthermore, it has been shown that LLLT may provide therapeutic benefits in patients with diseases associated with vascular disorders, such as diabetes mellitus^{11,12} and Raynaud's syndrome.^{13,14} However, the clinical effectiveness of photo-

medical therapy is still controversial, due, in large part, to discrepancies that are a function of highly variable treatment parameters, leading to conflicting results, the lack of properly designed randomized controlled trials (RCTs)^{11,15} and the application of animal or culture models.

The commercially available laser needle system is a relatively new technique for noninvasive simultaneous optical stimulation of defined acupoint combinations. The irradiation dose of this device is higher than compared to other low-level hand-held laser equipment.¹⁶ This is important since the use of inappropriate dosimetry may be one of the major reasons for non-detectable effects found in some irradiation studies.¹⁵ Present results from Litscher demonstrated a significant enhancement of cutaneous blood flow in the human hand following laser needle stimulation of acupoint Hegu (Li 4).¹⁷ However, this study was not designed as a RCT, although the laser needle system under investigation seems favorable for the evaluation of placebo effects. Therefore, the aim of the present study was to verify the influence of laser needle stimulation over a defined acupoint on peripheral blood flow and muscle oxygenation in a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial.

METHODS AND MATERIALS

Subjects

The present study was carried out on 33 healthy non-smoking men. The demographic data (mean \pm standard deviation) were as follows: age, 26.6 ± 3.4 years; height, 183.0 ± 8.0 cm; and weight, 80.3 ± 9.6 kg. The exclusion criteria were vascular disease, hypertension, and use of vasoactive medications.

Laser Needle System

The newly developed laser needle system was used for irradiation of acupoint Pericardium 6–Nei Guan (Pe 6). Laser needles were not inserted in the skin but were fixed onto the skin at the acupoint. The device consisted of eight laser needles arranged at the end of optical fibers. Laser diodes were used for light source emitting red light at a wavelength of 685 nm and infrared light at a wavelength of 880–950 nm (bichromatic emission) in continuous-wave modus with an output power of 30–40 mW per laser needle.^{16,18} The fiber core diameter was 0.5 mm. Irradiation time was 10 min., resulting in an energy density of approximately 2.3 kJ/cm^2 at each laser needle.¹⁹ Since the eight laser needles were bundled, the total energy density at the stimulated

acupuncture point was 18.4 kJ/cm^2 . Irradiation parameters and irradiation sides were standardized for the duration of the study.

Laser Doppler spectroscopy (LDS)

Microvascular blood flow was measured using laser Doppler spectroscopy (LEA Medizintechnik®, Germany). This method enables a continuous, non-invasive assessment of blood flow in real-time based on the Doppler principle. A laser beam is directed to the measurement area via an optical fiber, and is absorbed and scattered in the tissue. Laser light backscattered from moving particles (in this case, red blood cells) undergoes a frequency shift according to the Doppler principle, while laser light backscattered from static structures remains unchanged in frequency. The frequency shifts are related to the concentration and velocity of red blood cells in the investigated area.²⁰ The flow is expressed in arbitrary units (AU). According to its specific probe geometry, laser Doppler spectroscopy provides a simultaneous assessment of skin blood flow and blood flow in the deeper tissue up to 8 mm.

Data was sampled at 20 Hz, monitored in real-time, and stored on a personal computer. Four signal segments of 2 min. in length (2400 data points) before, during, and after laser needle stimulation, respectively, were selected for further analysis (Fig. 1). The data were visually controlled, and signals containing obvious fibre movement artefacts were excluded. Ghazanfari et al. demonstrated test-retest reliability of the measurement device for both tissue depths with correlation coefficients of $r \geq 0.810$ ($p < 0.01$) and average differences of 7–11%.²¹

Near-infrared spectroscopy (NIRS)

Alterations in tissue oxygenation in the M. flexor carpi ulnaris were monitored non-invasively using near-infrared spectroscopy (InSpectra™ Hutchinson Technology Inc., Netherlands). Calculation of the concentration change in total hemoglobin [Hbt] is based on the summation of $\Delta[\text{HbO}_2]$ and $\Delta[\text{Hb}]$, and provides an estimation of changes in blood volume within the illuminated area.²² This technique is based on tissue transparency for light in the near-infrared region and on differential absorption properties of chromophores in tissues.²³ Parameters of oxygenation are expressed in AU.

A sampling frequency of 6 Hz was selected. Four signal segments of 2 min. in length (720 data points) each—before, during, and after laser needle irradiation—were extracted for further analysis (Fig. 1). Sufficient reproducibility of the measurement device has been demonstrated by Cellarius et al.²⁴

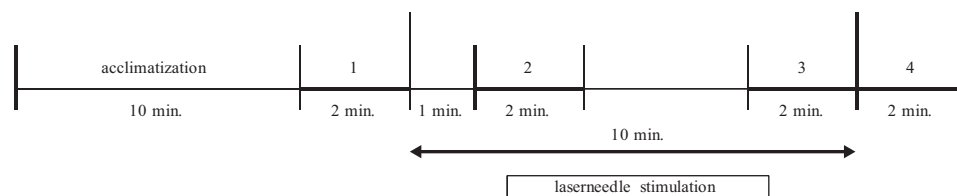


FIG. 1. Measuring scheme and signal analysis segments before (1), during (2 + 3), and after treatment (4).

Protocol

The study was reviewed and approved by the institutional review board, and all participants gave written informed consent. After approval, the subjects were randomized into an experimental group ($n = 18$) and a placebo group ($n = 15$). The laser needles were attached to the skin in both groups in the same manner, but only the experimental group received laser stimulation. In the placebo group, the laser system remained off-state. The application of laser or placebo was computer-controlled to assure double-blinded allocation. Continuous recordings of skin blood flow and muscle oxygenation were performed after an acclimatization phase of 10 min. The laser needles were put in contact to the skin at acupuncture point Nei Guan (Pe 6). The selected acupoint is located 2 cm proximal to the middle point of the carpal fold between the tendons of *M. flexor carpi radialis* and *M. palmaris longus*. In traditional Chinese medicine, Nei Guan (Pe 6) is considered to improve disturbances of the peripheral circulation.²⁵ Blood flow measurements were performed on the right forearm, 5 cm proximal to the middle point of the carpal fold between the tendons of *M. flexor carpi radialis* and *M. palmaris longus* with regard to proper standardization. The LDS cables were secured to reduce the impact of movement artefacts. The NIRS probe was placed over the *M. flexor carpi ulnaris*, and blackout cloth was placed over the probe to ensure maximum light-filtering. All experiments were performed in the same laboratory. The temperature was maintained constant at 22–24°C. Subjects were lying in relaxed, supine position during the tests. Eyes were covered by an opaque mask.

Statistical analysis

Data are presented as mean values \pm standard deviation. Statistical evaluation was accomplished using repeated-measures multivariate analysis of variance (MANOVA) with a doubly multivariate design and simple contrast with first level (baseline) as reference (generalized linear model [GLM] procedure

in SPSS 12.0 for Windows). The main and interaction effects of the factors time (four levels) and group (two levels) on tissue perfusion (two levels, depth and selective) and oxygenation (two levels, Hbt and HbO₂) were tested. The threshold value for statistical significance was predetermined at $p < 0.05$. Estimates of effect sizes were based on partial Eta-squared.

RESULTS

Mean values, standard deviations, and 95% confidence intervals of the peripheral blood flow are presented in Table 1.

The MANOVA model did not show significant main effects of time or of group. The time by group interaction was significant ($p = 0.034$), with an effect size of 0.39. The univariate tests from the repeated measures MANOVA demonstrated significant time by group interactions in measuring depth 1 ($p = 0.015$, effect size = 0.15), as well as in depth 2 ($p = 0.03$, effect size = 0.1). The contrast analysis showed that the time by group effect on skin blood flow at analysis segment 3 was significant ($p = 0.03$, effect size = 0.14) as well as at analysis segment 4 (0.008, effect size = 0.21) when contrasted to the first level (baseline; Fig. 2A). In the deeper tissue, only the perfusion at analysis segment 4 was significant ($p = 0.008$, effect size = 0.2; Fig. 2B).

As can be seen from descriptive statistics given in Table 1, average skin blood flow increased by 7.3% in the experimental group, whereas in the placebo group, a decrease of 16.1% was demonstrated (analysis segment 3 compared to baseline). After laser application (analysis segment 4), skin blood flow increased by 8.1% in the experimental group and decreased by 21.8% in the placebo group. In the deeper tissue, the perfusion increased by 2.7% in the experimental group whereas the perfusion was reduced by 13.0% in the placebo group after exposure to laser light (analysis segment 4), respectively.

Concerning parameters of tissue oxygenation (HbO₂ and Hbt; Table 2), MANOVA did not show significant main effects

TABLE 1. PERIPHERAL BLOOD FLOW IN DEPTH 1 AND DEPTH 2 IN EXPERIMENTAL GROUP (EG) AND PLACEBO GROUP (PG) BEFORE (1), DURING (2–3), AND AFTER (4) TREATMENT.

	<i>Flow (AU)</i>		<i>95% CI</i>	
	<i>Depth 1</i>		<i>Depth 2</i>	
EG				
1	6.5 (4.4)	4.4, 8.7	52.4 (38.7)	33.1, 71.6
2	6.5 (4.0)	4.5, 8.5	51.6 (36.1)	33.6, 69.5
3	7.0 (5.5)	4.3, 9.8	52.7 (41.5)	32.1, 73.4
4	7.1 (5.0)	4.6, 9.5	53.8 (39.6)	34.1, 73.5
PG				
1	14.6 (10.6)	8.7, 20.4	81.3 (45.7)	56.0, 106.6
2	13.8 (10.3)	8.0, 19.5	77.0 (45.9)	51.5, 102.4
3	12.2 (7.6)	8.0, 16.4	76.2 (45.2)	51.2, 101.3
4	11.4 (7.1)	7.5, 15.3	70.7 (39.9)	48.6, 92.8

Data are presented as mean values \pm (SD) and 95% confidence intervals.

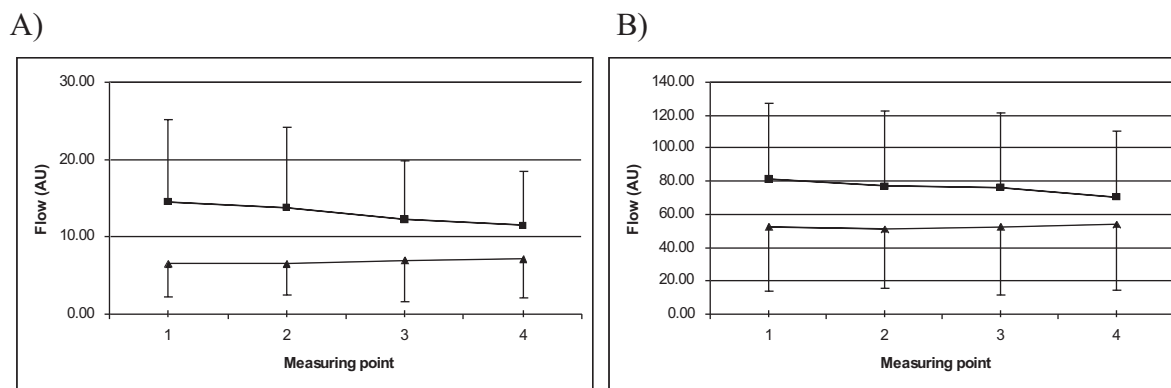


FIG. 2. Mean \pm SD changes of skin blood flow (A) and blood flow in the deeper tissue (B) before (1), during (2 + 3), and after (4) the treatment in the two experimental conditions. ■ solid square, placebo group; ▲ solid triangle, experimental group. a significant interaction between time and experimental condition was found ($p = 0.034$; effect size = 0.39).

for time or group. The time by group interaction was also not significant.

DISCUSSION

The present study addressed the effect of standardized laser needle stimulation over a defined acupuncture point (Pe 6) on peripheral microcirculation and oxygenation in unimpaired tissues. For the evaluation, laser Doppler spectroscopy and near-infrared spectroscopy were used simultaneously in a randomized, double-blind, placebo-controlled study design. We assessed the relationship between microcirculatory alterations and changes in muscular oxygenation, since oxygenation level reflects a dynamic balance between oxygen supply and utilization,^{26,27} which is subject to local blood flow and metabolism.²²

In our study, laser needle stimulation led to increased blood flow, whereas placebo treatment led to decreased blood flow. Contrary to our expectations, the results did not demonstrate any effects on tissue oxygenation.

Although LLLT is widely accepted in the treatment of various diseases associated with disturbances of the microcircula-

tion, the evidence-based evaluation of its efficiency is difficult because of diverse interventional modalities. Firstly, there is a wide range of laser devices used. Penetration depth is largely dependent on the wavelength of the laser, leading to great differences concerning the efficiency of its use. Secondly, penetration depth is influenced by individual optical properties of the skin such as thickness of the epidermal layer, pigmentation factors, and blood volume and vascular architecture. Thus, there is a need for properly standardized trials with respect to the documentation of laser settings as well as stimulation modalities and measuring points in order to allow comparison of study results.

It is not surprising that studies carried out on animal and culture models revealed conflicting results as compared to findings obtained in humans. Schindl et al. reported a significant increase in skin microcirculation due to a single low-level laser irradiation in patients with diabetic microangiopathy in a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial.¹¹ These results are in good agreement with Litscher, who demonstrated a significant enhancement of the peripheral microcirculation, cerebral blood flow velocity, and oxygenation induced by a single laser needle stimulation of acupuncture point Hegu

TABLE 2. HbO₂ AND Hbt IN EXPERIMENTAL GROUP (EG) AND PLACEBO GROUP (PG) BEFORE (1), DURING (2–3) AND AFTER (4) TREATMENT.

	HbO ₂ (AU)	95% CI	Hbt (AU)	95% CI
EG				
1	27.3 (13.6)	20.5, 34.0	58.8 (10.3)	53.7, 64.0
2	28.0 (13.8)	21.2, 34.9	59.3 (10.1)	54.3, 64.4
3	27.4 (14.8)	20.0, 34.7	58.5 (11.2)	53.0, 64.1
4	27.6 (14.1)	20.5, 34.6	58.6 (9.8)	53.7, 63.5
PG				
1	33.8 (11.4)	27.5, 40.1	63.1 (8.8)	58.1, 68.9
2	33.6 (11.8)	27.1, 40.1	63.5 (9.1)	58.5, 68.6
3	34.4 (13.0)	27.2, 51.5	63.6 (10.1)	58.0, 69.1
4	34.1 (12.6)	27.1, 41.1	63.4 (10.0)	57.9, 68.9

Data are presented as mean values \pm (SD) and 95% confidence intervals

(Li 4).¹⁷ However, this study lacked randomization and incorporation of control subjects. Schaffer et al. monitored blood circulation at the plantar pedis using magnetic resonance imaging and demonstrated a significant increase elicited by LLLT.²⁸

While increased microcirculation provoked by LLLT may correspond to the improvement in wound healing and relief of pain^{7,29,30} other authors did not find any improvement in the treatment of lateral epicondylitis,⁹ wound healing in venous leg ulcers,³¹ or pain reduction in the management of minor post-surgical wounds.³² Nevertheless, the aforementioned positive findings for microcirculatory changes are similar to the findings of the present study which showed a significant effect on peripheral microcirculation. We demonstrated a significant decrease of blood flow evidenced by LDS in the placebo group, whereas the blood flow in the experimental group increased. The decrease in blood flow might be explained by vasoconstriction of the peripheral resistance vessels in order to reduce additional heat loss during the test session, due to a difference between skin temperature and room temperature. It seems that, in the experimental group, thermoregulatory vasoconstriction was superimposed by the laser-induced vasodilatation effect, which resulted in an average 6% increase in local blood flow.

However, the mechanisms by which photostimulation influences microcirculation and oxygenation are still unclear. There is evidence in the literature that sympathetic vasomotor nerve activity and endothelial function are involved in the vascular response to LLLT.^{2,33,34} Karlsson et al. demonstrated that photo-induced vascular relaxation in bovine mesenteric arteries is associated with an increment in intracellular cGMP.⁵ Since NO stimulates cGMP synthesis,³⁵ these results suggest that endothelial cells play an essential role in the vasodilatation after laser irradiation. Data from Kasai et al. indicated that LLLT diminishes neurogenic activity.³⁶ As vascular resistance is modulated by neurogenic activity, it appears that this mechanism contributes to photo-induced vasodilatation. In this context, previous studies showed that adequate spectral analysis of laser Doppler signals could provide additional information about relative contributions of particular subsystems of microvascular control such as neurogenic and endothelial related activity.^{37,38} As to further studies, LDS in combination with spectral analysis may be a useful model in the evaluation of laser-induced changes in microvascular control.

One shortcoming of the present study is that the measuring depths of laser Doppler spectroscopy and near-infrared spectroscopy, as well as measurement sites, were different. Thus, results represent relative changes in blood flow and oxygenation in adjacent but not identical tissues, which might, with respect to the great spatial variations in microcirculation and tissue oxygenation status,^{26,27,39} account for differing findings.

CONCLUSIONS

Even though the clinical efficiency of LLLT needs to be further clarified, our findings indicate that laser needle stimulation may enhance peripheral microcirculation. This is relevant for clinical practice, because improvement of microvascular function constitutes a major goal in the management of various diseases. Further research on underlying mechanisms using ad-

equated methods of time/frequency analysis may enable the deduction of more precise treatment guidelines for specific indications.

REFERENCES

- Kubota, J. (2002). Effects of diode laser therapy on blood flow in axial pattern flaps in the rat model. *Lasers Med. Sci.* 17, 146–153.
- Maegawa, Y., Itoh, T., Hosokawa, T., et al. (2000). Effects of near-infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers Surg. Med.* 27, 427–437.
- Ihsan, F.R. (2005). Low-level laser therapy accelerates collateral circulation and enhances microcirculation. *Photomed. Laser Surg.* 23, 289–294.
- Bayat, M., Tabatabai, H., and Shemshadi, H. (2004). Effects of low-power laser irradiation on survival of random skin flap in rats. *Eur. J. Plast. Surg.* 27, 178–181.
- Karlsson, J.O., Axelsson, K.L., and Andersson, R.G. (1984). Effects of ultraviolet radiation on the tension and the cyclic GMP level of bovine mesenteric arteries. *Life Sci.* 34, 1555–1563.
- Mester, E., Mester, A.F., and Mester, A. (1985). The biomedical effects of laser application. *Lasers Surg. Med.* 5, 31–39.
- Lanzafame, R.J., Stadler, I., Coleman, J., et al. (2004). Temperature-controlled 830-nm low-level laser therapy of experimental pressure ulcers. *Photomed. Laser Surg.* 22, 483–488.
- Basford, J.R., Sheffield, C.G., and Harmsen, B.S. (1999). Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low-intensity Nd:YAG laser irradiation on musculoskeletal back pain. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 80, 647–652.
- Basford, J.R., Sheffield, C.G., and Cieslak, K.R. (2000). Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low intensity Nd:YAG laser irradiation on lateral epicondylitis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 81, 1504–1510.
- Basford, J.R. (1986). Low-energy laser treatment of pain and wounds: hype, hope or hokum? *Mayo Clin. Proc.* 61, 671–675.
- Schindl, A., Schindl, M., Schön, H., et al. (1998). Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy. *Diabetes Care* 21, 580–584.
- Schindl, A., Heinze, G., Schindl, M., et al. (2002). Systemic effects of low-intensity laser irradiation on skin microcirculation in patients with diabetic microangiopathy. *Microvasc. Res.* 64, 240–246.
- Al-Awami, M., Schillinger, M., Geschwandtner, M.E., et al. (2001). Low-level laser treatment of primary and secondary Raynaud's phenomenon. *Vasa* 30, 281–284.
- Hirschl, M., Katzenschlager, R., Ammer, K., et al. (2002). Double-blind, randomised, placebo-controlled low-level laser therapy study in patients with primary Raynaud's phenomenon. *Vasa* 31, 91–94.
- Schindl, A., Schindl, M., Pernerstorfer-Schön, H., et al. (2000). Low-intensity laser therapy: A Review. *J. Invest. Med.* 48, 312–326.
- Litscher, G., Rachbauer, D., Ropele, S., et al. (2004). Acupuncture using laser needles modulates brain function: first evidence from functional transcranial Doppler sonography and functional magnetic resonance imaging. *Lasers Med. Sci.* 19, 6–11.
- Litscher, G. (2003). Cerebral and peripheral effects of laser needle-stimulation. *Neurol. Res.* 25, 722–728.
- Litscher, G., and Schikora, D. (eds.) (2005). *Laser needle-Acupuncture. Science and Practice*. Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers.
- Litscher, G., and Schikora, D. (2002). Cerebral vascular effects of non-invasive laser needles measured by transorbital and transtemporal Doppler sonography. *Lasers Med. Sci.* 17, 289–295.

20. Leahy, M.J., de Mul, F.F.M., Nilsson, G.E., et al. (1999). Principles and practice of the laser-Doppler perfusion technique. *Technol. Health Care* 7, 143–162.
21. Ghazanfari, M., Vogt, L., Banzer, W., et al. (2002). Reproduzierbarkeit nicht-invasiver Durchblutungsmessung mit der Laser-Doppler-Spektroskopie [in German]. *Phys. Med. Rehab. Kuror.* 12, 330–336.
22. Hoshi, Y., Kobayashi, N., and Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *J. Appl. Physiol.* 90, 1657–1662.
23. Van Beekvelt, M.C.P., Colier, W.N.J.M., Wevers, R.A., et al. (2001). Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 90, 511–519.
24. Cellarius, A., Ziesing, A., Brenner, T., et al. (2006). Reliabilitat der lokalen Sauerstoff-Sattigung bei Fahrradergometrie mittels einer nicht-invasiven Messtechnik (NIRS)[in German], in: *Assessment in Gesundheitssport und Bewegungstherapie. Schriften der Deutschen Vereinigung fur Sportwissenschaft.* G. Wydra (ed.). Hamburg, Germany: Czwalina (Vol. 158, pp 164–169.)
25. Bergfeld, D., and Sommer, B. (1987). Herz/Kreislauf [in German], in: *Therapieshandbuch Akupunktur.* G. Kubiens and B. Sommer (eds.). Ulm Stuttgart Jena Lubeck, Germany: Gustav Fischer, pp. 113–128.
26. Miura, H., McCully, K., Nioka, S., et al. (2004). Relationship between muscle architectural features and oxygenation status determined by near infrared device. *Eur. J. Appl. Physiol.* 91, 273–278.
27. Quaresima, V., Colier, W.N.J.M., van der Sluijs, M., et al. (2001). Nonuniform quadriceps O₂ consumption revealed by near-infrared multipoint Measurements. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 285, 1034–1039.
28. Schaffer, M., Bonel, H., Sroka, R., et al. (2000). Effects of 780-nm diode laser irradiation on blood microcirculation: preliminary findings on time-dependent T1-weighted contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI). *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 54, 55–60.
29. Reddy, G.K., Stehno-Bittel, L., and Enwemeka, C.S. (2001). Laser photostimulation accelerates wound healing in diabetic rats. *Wound Repair Regen.* 9, 248–255.
30. Bjordal, J.M., Lopes-Martins, R.A.B., and Iversen, V.V. (2006). A randomised, placebo-controlled trial of low-level laser therapy for activated Achilles tendinitis with microdialysis measurement of peritendinous prostaglandin E₂ concentrations. *Br. J. Sports Med.* 40, 76–80.
31. Kokol, R., Berger, C., Haas, J., et al. (2005). Venous leg ulcers: no improvement of wound healing with 685-nm low level laser therapy. Randomised, placebo-controlled, double-blind study [in German]. *Hautarzt* 56, 570–575.
32. Lagan, K.M., Clements, B.A., McDonough, S., et al. (2001). Low intensity laser therapy (830nm) in the management of minor post-surgical wounds: a controlled clinical study. *Lasers Surg. Med.* 28, 27–32.
33. Karlsson, J.O., Axelsson, K.L., Elwing H., et al. (1986). Action spectra of photoactivated cyclic GMP metabolism and relaxation in bovine mesenteric artery. *J. Cyclic Nucleotide Protein Phosphor. Res.* 11, 155–166.
34. Tsuchiya, K., Kawatani, M., Takeshige, C., et al. (1993). Diode laser irradiation selectively diminishes slow component of axonal volleys to dorsal roots from the saphenous nerve in the rat. *Neurosci. Lett.* 161, 65–68.
35. Takata, M., Filippov, G., Liu, H., et al. (2001). Cytokines decrease sGC in pulmonary artery smooth muscle cells via NO-dependent and NO-independent mechanisms. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 280, 272–278.
36. Kasai, S., Kono, T., Yamamoto, Y., et al. (1996). Effect of low-power laser irradiation on impulse conduction in anesthetized rabbits. *J. Clin. Laser Med. Surg.* 14, 107–109.
37. Hubscher, M., Bernjak, A., Stefanovska, A., et al. (2006). Die Wavelet Transformation zur Erfassung belastungsabhangiger Veranderungen der Mikrozirkulation [in German]. *Deut. Z. Sportmed.* 57, 14–18.
38. Stefanovska, A., and Bracic, M. (1999). Physics of the human cardiovascular system. *Contemp. Phys.* 40, 31–55.
39. Binzoni, T., Leung, T., Delpy, D.T., et al. (2004). Mapping human skeletal muscle perforator vessels using a quantum well infrared photodetector (QWIP) might explain the variability of NIRS and LDF measurements. *Phys. Med. Biol.* 49, N165–N173.

Address reprint requests to:

Dr. Winfried Banzer
Department of Sports Medicine
Johann Wolfgang Goethe University Frankfurt/Main
Ginnheimer Landstraße 39
60487 Frankfurt am Main

E-mail: banzer@sport.uni-frankfurt.de



Wavelet Analysis of Laser-Induced Blood Flow Changes

Markus Hübscher, MA, Lutz Vogt, PhD, and Winfried Banzer, MD

ABSTRACT

Background: It has been shown that low-level laser irradiation induces vascular relaxation leading to improved microcirculation.

Objective: To provide additional insight into the mechanisms of laser-induced vascular relaxation.

Design, Setting, and Participants: Continuous wavelet transformation was applied to laser Doppler spectroscopy signals that were recorded immediately before and after a standardized laser needle stimulation over acupuncture point Neiguan (PC 6) in 6 healthy, nonsmoking men. Five oscillatory components in the frequency interval from 0.0095 to 2 Hz were analyzed corresponding to cardiac, respiratory, neurogenic, myogenic, and endothelial related activity.

Main Outcome Measures: Measurement of skin blood flow and spectral amplitudes.

Results: Findings demonstrated that laser needle stimulation had no statistically significant effect on peripheral blood flow and microvascular control under the conditions of the present study. Overall, the group average skin blood flow decreased from 6.46 arbitrary units (AU) before laser needle treatment to 5.18 AU after laser irradiation (99% CI for the mean difference: -0.5 to 3.06 AU).

Conclusions: Observations pointed toward increased neurogenic and myogenic influences. Therefore, our results suggest that wavelet analysis enables valid differentiation of particular subsystems of microvascular control in response to laser needle treatment. Further research in terms of randomized controlled trials is required.

Key Words: Laser Doppler Spectroscopy, Laser Needle, Microvascular Control, Vascular Relaxation, Wavelet Transformation

INTRODUCTION

THERE IS SUBSTANTIAL EVIDENCE THAT low-level laser irradiation may improve tissue perfusion in the microvascular network. Especially the involvement of neural and endothelial factors within the scope of laser-induced vascular relaxation is suggested.^{1,2} Besides vascular relaxation^{3,4} and increased skin microcirculation,⁵ investigators have demonstrated influences of low-level laser irradiation on cerebral and peripheral blood flow.^{6,7} The underlying mechanisms, however, of the photo-induced vasorelaxation have not been studied in depth and the corresponding reports are mainly restricted to animal or in vitro models.

In this context, the monitoring of skin blood flow responses

via the laser Doppler technique has an evident potential; because laser Doppler spectroscopy provides semi-quantitative, noninvasive monitoring of time-dependent fluctuations of the microcirculation, resulting from vasomotion and its control by microvascular mechanisms, decomposing the signals by means of time-frequency analysis has been shown to contribute to physiological knowledge of the blood distribution system. Wavelet analysis has successfully been used in vivo in the assessment of blood flow responses to physical activity,^{8,9} in the study of blood perfusion of free skin flaps,^{10,11} in the evaluation of functional alterations of vascular endothelial cells within the scope of physical activity,¹² and in the examination of autonomic neuropathy in diabetic patients.¹³

Based on the results obtained in these studies, it is hy-

pothesized that wavelet transformation may also be a potential tool for a noninvasive evaluation of effects of low-level laser irradiation on microvascular blood flow in humans. Therefore, the aim of the present study was to obtain more precise knowledge regarding the underlying physiological mechanisms of laser-induced vascular relaxation.

METHODS

Participants

Six healthy, nonsmoking men participated in the study (mean [SD] age, 26.7 [4.8] years; height, 187.8 [8.6] cm; weight, 76.8 [7.2] kg). The exclusion criteria were vascular disease, hypertension, and the use of vasoactive medications. All participants gave written informed consent after the study was reviewed and approved by the institutional review board.

Laser Irradiation

The Laserneedle System (Laserneedle Systems GmbH, Germany) consisting of eight laser needles that were arranged at the end of optical fibers, was used for irradiation of Pericardium 6 (PC 6, Neiguan). The laser needles were not inserted but were fixed onto the skin at the acupuncture point. Red light at a wavelength of 685 nm and infrared light at a wavelength of 880–950 nm (bichromatic emission) were emitted in continuous-wave modus with an output power of 30–40 mW per laser needle.^{14,15} The fiber core diameter was 0.5 mm. The irradiation time was 10 minutes, resulting in an energy density of about 2.3 kJ/cm² per each laser needle.¹⁶ The total energy density of the eight bundled laser needles at the stimulated acupuncture point was 18.4 kJ/cm². The irradiation parameters and irradiation sides were standardized for the duration of the study.

Laser Doppler Spectroscopy

Laser Doppler spectroscopy (LEA Medizintechnik, Germany) was used for continuous, noninvasive, real-time recording of skin blood flow (sampling rate, 20 Hz). Based on the Doppler principle, the frequency shift between transmitted and backscattered laser light is related to the concentration and velocity of red blood cells in the investigated area. Ghazanfari et al¹⁷ demonstrated a high test-retest reliability of the device with correlation coefficients equaling $r \geq 0.81$ ($P < .01$) and an average difference between 7%–11%.

Protocol

Continuous recordings of skin blood flow were performed after an acclimatization phase of 10 minutes. The laser needles were put in contact to the skin at PC 6. Blood flow measurements were performed on the right forearm, 3 cun proximal to the selected acupoint between the tendons of M. flexor carpi radialis and M. palmaris longus. Participants laid in a

relaxed, supine position with eyes covered by an opaque mask. The Doppler spectroscopy cables were secured and the room temperature was maintained constant at 22°C–24°C.

Signal Analysis

Two laser Doppler spectroscopy signal segments of 25 minutes in length (30,000 data points) before and after laser needle stimulation, respectively, were analyzed. Before calculating the spectral components of the blood flow data, the trend and mean value were removed from the raw signals by using a moving average filter with a 200-second window. In this way, the frequency content below 0.005 Hz was removed. Furthermore, the signals were resampled to 10 Hz.

Wavelet transformation was used to decompose the laser Doppler signals into characteristic frequency components. This method was thoroughly described by Bračič and Stefanovska,¹⁸ Kvernmo et al,⁹ and Stefanovska et al.¹⁹ Accordingly, the Morlet wavelet was stretched or compressed to allow adequate time-frequency resolution appropriate for the nonstationary laser Doppler signals.

The total spectrum from 0.0095 through 2 Hz was divided into five subintervals, which were assumed to reflect the influence of heartbeat (0.6–2 Hz), respiration (0.2–0.6 Hz), intrinsic myogenic activity (0.06–0.2 Hz), neurogenic activity (0.02–0.06 Hz), and endothelial function (0.0095–0.02 Hz). The mean amplitude of the total spectrum (0.0095–2 Hz) and the absolute amplitude of each particular interval were calculated. To reveal the relative contribution of the oscillatory components, the absolute amplitude of each subinterval was normalized with respect to the total spectral amplitude (normalized amplitude). Sufficient reproducibility of this method was demonstrated by Bračič and Stefanovska.¹⁸

Statistical Analysis

Due to the small sample size, the analysis concentrated on descriptive statistics and 99% confidence interval (CI) computation for the mean differences. Data are presented as mean values \pm 1 standard deviation; 99% CIs for the mean differences were also used to test the null hypothesis at the $P < .01$ level by determining whether the null value (i.e., the value specified in the null hypothesis) lies within the CI.²⁰ The 99% confidence level was chosen due to the number of pairwise comparisons.

RESULTS

Overall, the group average skin blood flow decreased from 6.46 AU before laser needle treatment to 5.18 AU after laser irradiation (99% CI for the mean difference: –0.5 to 3.06 AU).

Mean values, standard deviations, and 99% CIs of the mean differences of the total spectral amplitude, the absolute and normalized amplitude of each particular frequency interval are presented in Table 1. In the present study, the 99% CI for the

mean differences overlap the null value and therefore, neither the average blood flow value changed nor alterations of the oscillatory components reached statistical significance.

DISCUSSION

To obtain further insight into the physiological background of regulatory mechanisms of laser-induced vascular relaxation, laser Doppler spectroscopy in combination with wavelet transformation was used within the study. In accordance with previous results,^{10,18} we demonstrated five periodic oscillations of the microvascular blood flow within the frequency interval from 0.0095 through 2 Hz. Periodic oscillations with frequencies of around 1 Hz are synchronous with the heart rate.²¹ Fluctuations with frequencies of around 0.2–0.3 Hz correspond to respiration.²² Oscillations with frequencies around 0.1 Hz are thought to be related to intrinsic myogenic activity.²³ Results from Kastrup et al²³ and Söderström et al¹¹ suggest that flow fluctuations with frequencies of about 0.4 Hz are subject to neurogenic control. Furthermore, Kvernmo et al²⁴ and Stefanovska et al¹⁹ examined blood flow responses to endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators. Their results indicated that endothelial-related activity is manifested with frequencies in the region at around 0.01 Hz. Kvandal et al²⁵ also demonstrated that these oscillations are partly mediated by nitric oxide, but not by endogenous prostaglandins.

Within the present study, neither average blood flow changed nor alterations of amplitudes of the oscillatory components reached statistical significance. Herewith, our results are in contrast to the findings reported by Maegawa et al,⁴ who showed that laser irradiation of rat mesenteric arterioles with a wavelength of 830 nm and a power density of 38.2 mW/mm² led to vasodilatation and increased blood flow. These results are in agreement with Karlsson et al,³ who demonstrated that strips of bovine mesenteric arteries, after brought to sustained contraction by phenylephrine, relaxed when exposed to UV radiation at a wavelength of 366 nm. In contrast, Lowe et al²⁶ studied the effect of irradiation with low-intensity laser (1.5 J/cm², 830 nm) on

forearm skin blood flow in humans and found a significant reduction in comparison with untreated control subjects. However, since the upper boundary of the 99% CI represents the largest plausible treatment effect that is compatible with the data,²⁷ it is possible that the true effect of the laser needle treatment is an increase of blood flow up to 32%, and an increase of the total spectral amplitude up to 56%.

The nonsignificant decrease in the total spectral amplitude, after laser needle stimulation compared with baseline values, points toward decreased vasomotor activity. In this context, Funk et al²⁸ investigated the effect of the periodic changes of vessel diameter on peripheral vascular resistance by means of an analytical model. Their calculations were based on Poiseuille’s Law, which states that the vascular resistance of a blood vessel (and hence, the volume flow) is inversely proportional to the fourth power of its radius. It has been shown that vascular resistance increases with decreasing amplitude of vasomotion. The nonsignificant decline in blood flow demonstrated in the present study might be explained by vasoconstriction of the peripheral resistance vessels in order to reduce additional heat loss due to a difference between skin and room temperature. Considering the results of Lowe et al,²⁶ this decrease in skin blood flow might also be explained as a consequence of photo-induced constriction of the vessels.

Furthermore, our observation pointed toward increased neurogenic and myogenic influences, whereas endothelial-related activity, respiration, and heartbeat contributed relatively to a smaller extent to changes of skin blood flow following the laser needle irradiation.

CONCLUSIONS

Profound understanding of physiological mechanisms of blood flow regulation associated with laser irradiation is crucial for sound configuration of parameters of low-level laser therapy with respect to specific indications. Our preliminary results suggest that wavelet analysis enables valid differentiation of particular subsystems of microvascular control in response to laser needle treatment. A further randomized controlled trial with adequate sample size is in progress to verify these findings.

TABLE 1. MEAN AMPLITUDE OF THE TOTAL SPECTRUM, ABSOLUTE AND NORMALIZED AMPLITUDES BEFORE (PRETEST) AND AFTER (POSTTEST) LASER NEEDLE APPLICATION

Intervals, in Hz	Mean (SD) pretest, AU		Mean (SD) posttest, AU		99% CI for mean difference, AU	
	Amplitude	Normalized amplitude	Amplitude	Normalized amplitude	Amplitude	Normalized amplitude
0.0095–2	9.27 (4.16)		7.24 (2.51)		–1.19 to 5.25	
0.0095–0.02	38 (23.37)	3.92 (1)	27.5 (10.48)	3.79 (0.3)	–16.67 to 37.65	–1.38 to 1.63
0.02–0.06	28.48 (16.46)	3.03 (0.7)	27.04 (13.34)	3.69 (1.2)	–18.27 to 21.14	–2.17 to 0.87
0.06–0.2	22.06 (13.97)	2.33 (1.24)	18.61 (11.76)	2.43 (1.10)	–1.3 to 8.21	–0.89 to 0.7
0.2–0.6	8.28 (3.74)	0.92 (0.15)	6.16 (1.78)	0.89 (0.1)	–1.93 to 6.17	–0.15 to 0.23
0.6–2	8.17 (3.59)	0.9 (0.06)	6.35 (2.19)	0.89 (0.08)	–0.78 to 4.42	–0.04 to 0.06

REFERENCES

1. Flitney FW, Megson IL. Nitric oxide and the mechanism of rat vascular smooth muscle photorelaxation. *J Physiol.* 2003;550(3):819–828.
2. Kasai S, Kono T, Yamamoto Y, Kotani H, Sakamoto T, Mito M. Effect of low-power laser irradiation on impulse conduction in anesthetized rabbits. *J Clin Laser Med Surg.* 1996;14(13):107–109.
3. Karlsson JO, Axelsson KL, Andersson RG. Effects of ultraviolet radiation on the tension and the cyclic gmp level of bovine mesenteric arteries. *Life Sci.* 1984;34(16):1555–1563.
4. Maegawa Y, Itoh T, Hosokawa T, Yaegashi K, Nishi M. Effects of near-infrared low-level laser irradiation on microcirculation. *Lasers Surg Med.* 2000;27:427–437.
5. Schindl A, Schindl M, Schön H, Knobler R, Havelec L, Schindl L. Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy. *Diabetes Care.* 1998;21(4):580–584.
6. Litscher G. Cerebral and peripheral effects of laser needle-stimulation. *Neurol Res.* 2003;25(7):722–728.
7. Schaffer M, Bonel H, Sroka R, et al. Effects of 780 nm diode laser irradiation on blood microcirculation: preliminary findings on time-dependent-T1-weighted-contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI). *J Photochem Photobiol B Biol.* 2000;54:55–60.
8. Hübscher M, Bernjak A, Stefanovska A, Vogt L, Banzer W. Die Wavelet Transformation zur Erfassung belastungsabhängiger Veränderungen der Mikrozirkulation. *Deutsch Z Sportmed.* 2006;57(1):14–18.
9. Kvernmo HD, Stefanovska A, Bračič M, Kirkeboen KA, Kvernebo K. Spectral analysis of the laser Doppler perfusion signal in human skin before and after exercise. *Mic Res.* 1998;56:173–182.
10. Liu X, Zeng B, Fan C, Jiang P, Hu X. Spectral analysis of blood perfusion in the free latissimus dorsi myocutaneous flap and in normal skin. *Phys Med Biol.* 2006;51:173–183.
11. Söderström T, Stefanovska A, Veber M, Svensson H. Involvement of sympathetic nerve activity in skin blood flow oscillations in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2003;284:1638–1646.
12. Kvernmo HD, Stefanovska A, Kirkeboen KA. Enhanced endothelial activity reflected in cutaneous blood flow oscillations of athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2003;90:16–22.
13. Urbančič-Rovan V, Stefanovska A, Bernjak A, Ažman-Juvan K, Kocijančič A. Skin blood flow in the upper and lower extremities of diabetic patients with and without autonomic neuropathy. *J Vasc Res.* 2004;41:535–545.
14. Litscher G, Rachbauer D, Ropele S, et al. Acupuncture using laser needles modulates brain function: first evidence from functional transcranial Doppler sonography and functional magnetic resonance imaging. *Lasers Med Sci.* 2004;19:6–11.
15. Litscher G, Schikora D, eds. *Laserneedle-Acupuncture: Science and Practice.* Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers; 2005.
16. Litscher G, Schikora D. Cerebral vascular effects of non-invasive laserneedles measured by transorbital and transtemporal Doppler sonography. *Lasers Med Sci.* 2002;17:289–295.
17. Ghazanfari M, Vogt L, Banzer W, Rhodius U. Reproduzierbarkeit nicht-invasiver Durchblutungsmessung mit der Laser-Doppler-Spektroskopie. *Phys Med Rehab Kuror.* 2002;12:330–336.
18. Bračič M, Stefanovska A. Wavelet-based analysis of human blood-flow dynamics. *Bull Math Biol.* 1998;60:919–935.
19. Stefanovska A, Bračič M, Kvernmo HD. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1999;46:1230–1239.
20. Sim J, Reid N. Statistical inference by confidence intervals: issues of interpretation and utilization. *Phys Ther.* 1999;79(2):186–195.
21. Hoffmann U, Yanar A, Franzeck UK, Edwards JM, Bollinger A. The frequency histogram—a new method for the evaluation of laser Doppler flux motion. *Mic Res.* 1990;40:293–301.
22. Mück-Weymann ME, Albrecht H-P, Hiller D, Hornstein OP, Bauer RD. Respiratory-dependent laser-doppler flux motion in different skin areas and its meaning to autonomic nervous control of the vessels of the skin. *Mic Res.* 1996;52:69–78.
23. Kastrup J, Bühlow J, Lassen NA. Vasomotion in human skin before and after local heating recorded with laser Doppler flowmetry. a method for induction of vasomotion. *Int J Microcirc Clin Exp.* 1989;8:205–215.
24. Kvernmo HD, Stefanovska A, Kirkeboen KA, Kvernebo K. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators. *Microvasc Res.* 1999;57:298–309.
25. Kvandal P, Stefanovska A, Veber M, Kvernmo HD, Kirkeboen KA. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandins. *Mic Res.* 2003;65:160–171.
26. Lowe AS, Walsh DM, Baxter GD, Allen JM. Low-intensity laser irradiation (830) nm reduces skin blood flow in humans. *Lasers Med Sci.* 1995;10:245–251.
27. Guyatt G, Jaeschke R, Heddle N, Cook D, Shannon H, Walter S. Basic statistics for clinicians, 2: interpreting study results: confidence intervals. *CMAJ.* 1995;152(2):169–173.
28. Funk W, Endrich B, Messmer K, Intaglietta M. Spontaneous arteriolar vasomotion as a determinant of peripheral vascular resistance. *Int J Microcirc Clin Exp.* 1983;2:11–25.

Address correspondence and reprint requests to:

Markus Hübscher, MA
Department of Sports Medicine
Johann Wolfgang Goethe-University Frankfurt/Main
Ginnheimer Landstraße 39
60487 Frankfurt am Main
Germany

E-mail: m.huebscher@sport.uni-frankfurt.de



Laser Needle Acupuncture at Neiguan (PC6) Does Not Mediate Heart Rate Variability in Young, Healthy Men

MARKUS HÜBSCHER, M.A., LUTZ VOGT, Ph.D., and WINFRIED BANZER, M.D., Ph.D.

ABSTRACT

Objective: The aim of this randomized, double-blinded, placebo-controlled trial was to evaluate specific effects of laser needle acupuncture at the Neiguan point (PC6) on sympathetic and parasympathetic nerve activity in healthy subjects using heart rate variability (HRV) analysis. **Background Data:** Acupuncture at the Neiguan point (PC6) has been shown to modulate the autonomic nervous system. **Methods:** Forty-five healthy non-smoking males were randomly divided into a placebo group ($n = 20$) with no laser irradiation and into an intervention group ($n = 25$) for which laser needle irradiation (36.8 kJ/cm^2) was performed on the right forearm. Monitoring of HRV was performed before, during, and after intervention. **Results:** Repeated-measures MANOVA did not show statistically significant main effects of time ($F = 1.29, p = 0.27$) or of group ($F = 1.67, p = 0.16$). The time by group interaction was also not statistically significant ($F = 0.95, p = 0.54$). **Conclusion:** Our results suggest that heart rate variability was not influenced by laser needle acupuncture at the Neiguan point (PC6).

INTRODUCTION

BASIC AND CLINICAL EVIDENCE suggests that sensory nerve stimulation by acupuncture and acupuncture surrogates is associated with pressor as well as depressor effects on the cardiovascular system,^{1,2} dependent on the site of stimulation and the period of observation,³ and the functional state of the autonomic nervous system.⁴ However, the question whether acupuncture has sympathomimetic or parasympathomimetic effects on the cardiovascular system remains to be further clarified.

Heart rate variability (HRV) has been proposed as an objective non-invasive marker of the autonomic nervous system.⁵ Spectral analysis of HRV signals reveals two major oscillatory components, one related to the sympathetic nerve activity (0.04–0.15 Hz (low-frequency range [LF]), and the other mainly considered as a marker of vagal (parasympathetic) modulation (0.15–0.4 Hz high-frequency range [HF]). The LF/HF ratio has been suggested to reflect sympathovagal balance.⁶ Although HRV monitoring is increasingly used to evaluate acupuncture-induced effects on the autonomic nervous system regulation,^{3,4,7,8} from a methodological point of view, controlling for placebo effects of acupuncture is complicated due to the unfeasibility of double-blinding. The commercially

available laser needle system is a relatively new technique for the non-invasive optical stimulation of defined acupuncture points.⁹ This device has proven to be favourable for the evaluation of placebo effects since it enables true double-blinded allocation.¹⁰ Recently, Litscher et al.¹¹ and Litscher and Schikora⁹ provided evidence, using means of Doppler sonography and magnetic resonance imaging, that laser needle acupuncture at vision related acupuncture points could elicit effects equivalent to needle acupuncture. Therefore, the aim of the present study was to investigate the influence of laser needle stimulation on sympathetic and parasympathetic nerve activity using power spectral analysis of heart rate variability in a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. In consideration of the positive findings of Huang et al., in terms of increased vagal modulation, the present study also uses acupuncture point Neiguan (PC6) in healthy subjects.¹³

METHODS

Subjects

The laser group consisted of 25 healthy non-smoking men, and the placebo group consisted of 20 healthy non-smoking

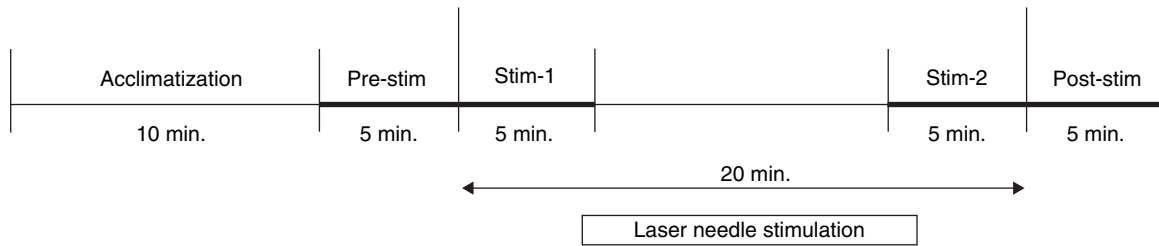


FIG. 1. Measuring scheme and HRV signal analysis segments before (pre-stim), during (stim-1; stim-2), and post-stimulation.

males. The demographic data (mean \pm standard deviation) were as follows: *laser group*—age of 24.8 ± 3.5 years, height of 183.4 ± 6.4 cm, and weight of 80.6 ± 10.0 kg; *placebo group*—age of 24.6 ± 1.8 years, height of 181.9 ± 6.2 cm, and weight of 81.5 ± 13.5 kg. The exclusion criteria were cardiovascular, pulmonary, and metabolic diseases, and the use of any medications. Food intake was restricted to a light meal 3 h before measurement procedure, and beverages containing caffeine or alcohol as well as physical exercise were not allowed for at least 24 h prior to the measurement. All participants gave written informed consent.

Laser irradiation

The Laserneedle[®] System (Laserneedle[®] Systems GmbH, Germany) was used for unilateral irradiation of Pericardium 6-Neiguan (PC6). Laser needles were not inserted in the skin but were fixed onto the skin at the acupuncture point. The device consists of eight laser needles that were arranged at the end of optical fibers. Laser diodes were used for light source emitting red light at a wavelength of 685 nm and infrared light at a wavelength of 880–950 nm (bichromatic emission) in continuous-wave modus with an output power of 30–40 mW per laser needle.^{11,12} The fiber core diameter was 0.5 mm. The irradiation time was 20 min, resulting in an energy density of about 4.6 kJ/cm² each.¹¹ Since the eight laser needles were bundled the total energy density at the stimulated acupuncture point was 36.8 kJ/cm². The study used emission characteristics predetermined by the manufacturer in consideration of dose-effect relationships.¹² Irradiation parameters and irradiation sites were standardized for the duration of the study.

Protocol

The subjects were randomly assigned to an experimental ($n = 25$) and a placebo group ($n = 20$). The laserneedles were put in contact to the skin at Neiguan (PC6) point located 2 cm proximal to the middle point of the carpal fold between the tendons of *M. flexor carpi radialis* and *M. palmaris longus* in both groups in the same manner but merely the experimental group received laser stimulation. In the placebo group the laser system remained off-state. The acupuncture point was located by an experienced acupuncturist. The application of laser or placebo was carried out computer-controlled to assure double-blinded allocation. Continuous recordings of HRV were performed using Polar S810[®] Heart Rate Monitors (Polar Electro Oy, Finland) after an acclimatization phase of 10 min. Sufficient validity of this device has been demonstrated by Bürklein et al.¹⁴ and Kingsley et al.¹⁵ The RR interval data (the intervals

between consecutive R waves arising from ventricular activation) were transferred to the Polar Precision Software (version 3.02) and subsequently exported to a spreadsheet. All experiments were performed in the same laboratory. The temperature was maintained constant at 22–24°C. Subjects were lying in relaxed, supine position during the tests. Eyes were covered by an opaque mask.

Data analysis

HRV signals were processed in accordance with the standards proposed by the Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology.⁵ Five-minute short-time resting interval tachograms with adequate stationarity, before, during and after laser needle stimulation, respectively, were selected for further analysis (Fig. 1).

Controlling for artefacts was accomplished by visual inspection and a customized computer program. All RR intervals that differed by more than 30% with respect to a reference interval determined as a five-point moving average were excluded.¹⁴ No signal containing more than 5% of artefacts was used for analysis.

Segments of 256 RR intervals were then exported as text files to HRV Analysis Software 1.1 (Department of Applied Physics, University of Kuopio, Finland). Before calculating the spectral components of the HRV data, the trend was removed from the signals by the smoothness priors method presented by Tarvainen et al.¹⁶ Afterwards, the signals were resampled at 2 Hz using a cubic spline interpolation to obtain time series with equidistant data points. Finally, spectral analysis was performed by the fast Fourier transform (Welch's averaged periodogram method, using a 512-point Hanning window with 50% overlap). The following indices were calculated: the total power (TP) within the frequency band of 0.02–0.4 Hz, the low-frequency (LF) power within the frequency band of 0.04–0.15 Hz, the high-frequency (HF) power within the frequency band of 0.15–0.4 Hz, and the LF/HF ratio.⁵ The powers of the LF and HF components were expressed in absolute values (msec²) and in normalized units (n.u.), which were obtained by dividing the absolute values of the LF and HF oscillatory components by TP after having subtracted from it the very low frequency (VLF) power of the oscillations below 0.02 Hz and multiplying this ratio by 100.

Statistical analysis

Demographic differences between groups (laser vs. placebo) were tested with an unpaired t-test. Measures of HRV frequency

domain indices were transformed by natural logarithm to correct non-normally distributed data, and presented as mean values \pm standard deviation. Statistical evaluation was accomplished by repeated-measures MANOVA with a doubly multivariate design and simple contrast with first level (baseline) as reference (GLM procedure in SPSS 12.0 for Windows). The main and interaction effects of the factors time (four levels) and group (two levels) on HRV indices were tested. The threshold value for statistical significance was predetermined at $p < 0.05$. In case of significant effects, statistical analysis was proceeded by estimations of effect sizes based on partial Eta squared.

RESULTS

There was no statistically significant difference between the laser and placebo group with regard to age, height, and body weight ($p > 0.05$).

The MANOVA model did not show statistically significant main effects of time ($F = 1.29$, $p = 0.27$) or of group ($F = 1.67$, $p = 0.16$). The time by group interaction was also not statistically significant ($F = 0.95$, $p = 0.54$), indicating that heart rate variability was not influenced by the treatment.

Mean values and corresponding standard deviations of the HRV measures are presented in Table 1.

DISCUSSION

In consideration of the efficacy of laser needle acupuncture in comparison with needle acupuncture,⁹ the present study addressed the question of whether standardized laser needle stimulation at acupuncture point Neiguan (PC6) could produce changes of the sympathetic and parasympathetic modulation of heart rate in humans. For this purpose, we applied power spectral analysis on short-time HRV signals recorded from healthy

non-smoking males in a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Contrary to our expectations, the results did not demonstrate statistically significant changes in sympathetic or parasympathetic activation. Middlekauff et al., using microneurography, demonstrated similar results in healthy subjects.¹⁷ The acupuncture-induced attenuation of blood pressure response during mental stress (bilateral stimulation at Sanyinjiao [SP6], Hegu [L14], and Taichong [LIV3]) was not mediated by inhibition of muscle sympathetic nerve activity. Otherwise, our results are in contrast to the findings reported by Li et al.,¹⁸ who demonstrated that the application of magnetopuncture to Dazhui (DUI14) and Neiguan (PC6) points in healthy humans resulted in a significant decrease in sympathetic nerve activity whereas parasympathetic nerve activity increased significantly. These results are in good agreement with another study from Li et al., who showed that the ratio of sympathetic to parasympathetic nerve activity was significantly reduced after needle stimulation at the Neiguan (PC6) and Hegu (LI4) points in normal subjects.⁴ Experimental studies in animal models of cardiovascular disease suggest that acupuncture affects the cardiovascular system through repression of sympathetic neural activation.¹⁸ Chao et al. demonstrated in a feline model of reflex-induced reversible myocardial ischemia that electrical stimulation of the median nerves significantly improved ischemic dysfunction, resulting from an inhibitory effect of electrical acupuncture on reflex pressor effects evoked by bradykinin.¹⁹ In a cat model of experimentally induced reflex pressor response, Tjen-A-Looi et al. demonstrated that bilaterally applied electroacupuncture (2 Hz, 1–4 mA, 0.5 ms) at Neiguan (PC6) and Jianshi (PC5) points, located along the pericardium meridian, decreased evoked neuronal activity in the rostral ventral lateral medulla (rVLM) through an opioid receptor mechanism.²⁰

Besides needle acupuncture and electroacupuncture there have been attempts to stimulate sensory nerves and traditional acupuncture points with low-level laser irradiation. *In vitro* and *in vivo* nerve conducting studies yielded conflicting

TABLE 1. INDICES OF HEART RATE VARIABILITY BEFORE (PRE-STIM), DURING (STIM-1, STIM-2), AND AFTER (POST-STIM) THE TREATMENT

Group	Index	Pre-stim	Stim-1	Stim-2	Post-stim
Laser	ln TP	7.18 (0.99)	7.17 (0.94)	7.43 (0.99)	7.28 (0.98)
	ln LF (msec ²)	6.47 (1.05)	6.4 (1.0)	6.72 (1.09)	6.45 (1.09)
	ln HF (msec ²)	5.97 (1.2)	6.07 (1.2)	6.21 (1.2)	6.16 (1.2)
	ln LF (nu)	4.07 (0.3)	4.0 (0.33)	4.06 (0.34)	4.0 (0.48)
	ln HF (nu)	3.57 (0.46)	3.66 (0.55)	3.55 (0.5)	3.66 (0.5)
	ln LF/HF	0.51 (0.75)	0.32 (0.86)	0.51 (0.81)	0.3 (0.94)
Placebo	ln TP	7.23 (0.9)	7.17 (0.77)	7.32 (0.78)	7.44 (0.75)
	ln LF (msec ²)	6.53 (0.96)	6.47 (0.85)	6.66 (0.86)	6.79 (0.75)
	ln HF (msec ²)	6.08 (1.08)	6.03 (0.89)	6.17 (0.81)	6.3 (0.87)
	ln LF (nu)	4.06 (0.28)	4.06 (0.31)	4.1 (0.2)	4.1 (0.19)
	ln HF (nu)	3.58 (0.45)	3.63 (0.41)	3.61 (0.33)	3.61 (0.27)
	ln LF/HF	0.47 (0.73)	0.44 (0.7)	0.47 (0.52)	0.5 (0.46)

All data are natural log (ln) transformed and presented as mean values \pm SD. TP, total power; LF, low frequency; HF, high frequency.

results suggesting neurophysiological effects of low level laser irradiation^{21–23} as well as no effects.^{24,25} The major reasons for these discrepancies might be found in the large range of treatment parameters and study protocols. The results of the present study in terms of unchanged sympathetic and parasympathetic nerve activity might be explained to some extent by interindividual differences in the optical properties of the skin and underlying tissue affecting the energy transmission to the acupuncture point. Furthermore, the physical differences between needle acupuncture, acupuncture-surrogates such as electroacupuncture, and acupuncture using laser needles should be taken into consideration. Langevin et al. postulated that needle manipulation is accompanied by a mechanical coupling between the needle and connective tissue and that this needle/tissue coupling activates signal transduction pathways that might explain the effectiveness of acupuncture.²⁶ This may account for different physiological mechanisms of action between needle and laser acupuncture. These comments accentuate that results obtained from studies using needle acupuncture may not be unrestrictedly extrapolated to the results observed in laser acupuncture trials. Nevertheless, these mechanical differences cannot comprehensively explain the negative findings of our study, since recent findings of Litscher et al. pointed, at least with regard to cerebral parameters in humans, towards comparable effects of needle and laser acupuncture.^{9,27}

CONCLUSION

Although, in the present research the applied energy density was higher than compared to other low-level hand-held laser equipment, we could not demonstrate significant differences between the effect of laser needle acupuncture and placebo treatment at Neiguan (PC6) on heart rate variability in healthy subjects. However, under the conditions of the present study, no negative side effects were observed. To further evaluate the effect of laser needle acupuncture, future research should investigate different acupuncture points and acupuncture point combinations in patients and healthy subjects as well as the influence of various parameter settings and irradiation treatments on cardiac autonomic function in contrast to needle acupuncture.

REFERENCES

- Knardahl, S., Elam, M., Olausson, B., et al. (1998). Sympathetic nerve activity after acupuncture in humans. *Pain* 75, 19–25.
- Nishijo, K., Mori, H., Yosikawa, K., et al. (1997). Decreased heart rate by acupuncture stimulation in humans via facilitation of cardiac vagal activity and suppression of cardiac sympathetic nerve. *Neurosci. Lett.* 227, 165–168.
- Haker, E., Egekvist, H., and Bjerring, P. (2000). Effect of sensory stimulation (acupuncture) on sympathetic and parasympathetic activities in healthy subjects. *Auton. Neurosci. Basic Clin.* 79, 52–59.
- Li, Z., Wang, C., Mak, A.F.T., et al. (2005). Effects of acupuncture on heart rate variability in normal subjects under fatigue and non-fatigue state. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94, 633–640.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of Measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93, 1043–1065.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., et al. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 59, 178–193.
- Huang, S.-T., Chen, G.-Y., Lo, H.-M., et al. (2005). Increase in the vagal modulation by acupuncture at the Neiguan point in healthy subjects. *Am. J. Chin. Med.* 33, 157–164.
- Li, Z., Jiao, K., Chen, M., et al. (2003). Effect of magnetopuncture on sympathetic and parasympathetic nerve activities in healthy drivers—assessment by power spectrum analysis of heart rate variability. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88, 404–410.
- Litscher, G., and Schikora, D. (2002). Cerebral vascular effects of non-invasive laserneedles measured by transorbital and transtemporal Doppler sonography. *Lasers Med. Sci.* 17, 289–295.
- Banzer, W., Hübscher, M., Seib, M., et al. (2006) Short-time effects of laserneedle stimulation on the peripheral microcirculation assessed by laser Doppler spectroscopy and near-infrared spectroscopy. *Photomed. Laser Surg.* 24, 575–580.
- Litscher, G., Rachbauer, D., Ropele, S., et al. (2004). Acupuncture using laser needles modulates brain function: first evidence from functional transcranial Doppler sonography and functional magnetic resonance imaging. *Lasers Med. Sci.* 19, 6–11.
- Litscher, G., and Schikora, D. (eds.). (2005). *Laserneedle—Acupuncture, Science and Practice*. Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers.
- Huang, S.-T., Chen, G.-Y., Lo, H.-M., et al. (2005). Increase in the vagal modulation by acupuncture at the Neiguan point in healthy subjects. *Am. J. Chin. Med.* 33, 157–164.
- Bürklein, M., Vogt, L., and Banzer, W. (2005). Messverfahren zur Erfassung der Herzfrequenzvariabilität—Eine vergleichende Studie. *Deut. Z. Sportmed.* 56, 415–421.
- Kingsley, M., Lewis, M.J., and Marson, R.E. (2005). Comparison of polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int. J. Sports Med.* 26, 39–44.
- Tarvainen, M.P., Ranta-aho, P.O., and Karjalainen, P.A. (2002). An advanced detrending method with application to HRV analysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 49, 172–175.
- Middlekauff, H.R., Yu, J.L., and Hui, K. (2001). Acupuncture effects on reflex responses to mental stress in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integrat. Comp. Physiol.* 280, 1462–1468.
- Li, P., Pitsillides, K.F., Rendig, S.V., et al. (1998). Reversal of reflex-induced myocardial ischemia by median nerve stimulation: a feline model of electroacupuncture. *Circulation* 97, 1186–1194.
- Chao, D.M., Shen, L.L., Tjen-A-Looi, S., et al. (1999). Naloxone reverses inhibitory effect of electroacupuncture on sympathetic cardiovascular reflex responses. *Am. J. Physiol.* 276, 2127–2134.
- Tjen-A-Looi, S., Li, P., and Longhurst, J.C. (2003). Prolonged inhibition of rostral ventral lateral medullary premotor sympathetic neurons by electroacupuncture in cats. *Auton. Neurosci. Basic Clin.* 106, 119–131.
- Baxter, G.D., Walsh, D.M., Allen, J.M., et al. (1994). Effects of low-intensity infrared laser irradiation upon conduction in the human median nerve *in vivo*. *Exp. Physiol.* 79, 227–234.
- Kasai, S., Kono, T., Yamamoto, Y., et al. (1996). Effect of low-power laser irradiation on impulse conduction in anesthetized rabbits. *J. Clin. Laser Med. Surg.* 14, 107–109.
- Lowe, A.S., Baxter, G.D., Walsh, D.M., et al. (1994). Effect of low-intensity laser (830 nm) irradiation on skin temperature and antidromic conduction latencies in the human median nerve: relevance of radiant exposure. *Lasers Surg. Med.* 14, 40–46.

24. Çömelekoğlu, Ü., Bağış, S., Büyükkakilli, B., et al. (2002). Acute electrophysiological effect of pulsed gallium-arsenide low-energy laser irradiation on isolated frog sciatic nerve. *Lasers Med. Sci.* 17, 62–67.
25. Walsh, D.M., Baxter, G.D., and Allen, J.M. (2002). Lack of effect of pulsed low-intensity infrared (820 nm) laser irradiation on nerve conduction in the human superficial radial nerve. *Lasers Surg. Med.* 26, 485–490.
26. Langevin, H.M., Churchill, D.L., and Cipolla, M.J. (2001). Mechanical signaling through connective tissue: a mechanism for the therapeutic effect of acupuncture. *FASEB J.* 15, 2275–2282.
27. Litscher, G., Wang, L., and Wiesner-Zechmeister, M. (2000). Specific effects of laser puncture on the cerebral circulation. *Lasers Med. Sci.* 15, 57–62.

Address reprint requests to:

Markus Hübscher, M.A.

Department of Sports Medicine

Johann Wolfgang Goethe–University Frankfurt/Main

Ginnheimer Landstraße 39

60487 Frankfurt am Main, Germany

E-mail: m.huebscher@sport.uni-frankfurt.de

IV

Akute Effekte der Nadelakupunktur auf die motorische Leistungsfähigkeit im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Winfried Banzer^a Markus Hübscher^a Florian Pfab^{b, c} Anke Ziesing^a Lutz Vogt^a

^a Abt. Sportmedizin, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.,

^b Klinik für Dermatologie und Allergologie,

^c Zentrum für Allergie und Umwelt GSF/TUM, Technische Universität München, Deutschland

Schlüsselwörter

Akupunktur · Körperliche Leistungsfähigkeit · Reaktive Sprungkraft · Drop-Jump · Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Zusammenfassung

Hintergrund: Einzelne wissenschaftliche Studien haben potentielle Effekte der Nadelakupunktur zur Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit identifiziert. **Fragestellung:** Die vorliegende Untersuchung prüft erstmalig akute Effekte einer standardisierten Nadelakupunktur auf die reaktive Sprungleistungsfähigkeit. **Probanden und Methoden:** Die randomisierte, kontrollierte Crossover-Studie wurde an einer Stichprobe von 12 gesunden Sportstudentinnen und Sportstudenten durchgeführt. Vergleichend untersucht wurden akute Auswirkungen einer Verum-Akupunktur, einer Placebo-Akupunktur sowie einer Wartekontrollbedingung auf die myoelektrische Aktivität und kinematische Zielgrößen (Bodenkontaktzeit, maximale Sprunghöhe) bei einbeinigen Nieder-Hochsprüngen (Drop-Jump). **Ergebnisse:** Die Resultate der myoelektrischen und kinematischen Messungen weisen für keinen der untersuchten Parameter auf signifikante Unterschiede in Abhängigkeit der Versuchsbedingungen hin. Allerdings führt die Verum-Akupunktur in der Tendenz zu einer relativen Verkürzung der Bodenkontaktzeiten bei gleichzeitig erhöhter muskulärer Innervation. **Schlussfolgerung:** Es zeigen sich keine signifikanten Effekte der Nadelakupunktur auf die motorische Leistungsfähigkeit im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Eine weitere Überprüfung des in der vorliegenden Studie identifizierten Akupunktur-Potentials zur Optimierung des reaktiven Bewegungsverhaltens sollte im Rahmen kontrollierter Studien mit stratifizierter Randomisierung nach sportmotorischer Leistungsfähigkeit angestrebt werden.

Key Words

Acupuncture · Physical performance · Reactive strength · Drop-jump · Stretch-shortening cycle

Summary

Acute Effects of Needle Acupuncture on Power Performance during Stretch-Shortening Cycle

Background: Some studies have shown beneficial effects of needle acupuncture on physical performance. **Objective:** To evaluate immediate effects of a standardized acupuncture treatment on vertical jumping performance. **Subjects and Methods:** 12 healthy sport students participated in the study. A randomized crossover design was used to investigate specific effects of real acupuncture, sham acupuncture and a no-acupuncture waiting list condition on myoelectric activity and kinematic parameters (duration of ground contact, maximum jumping height) in one-legged drop jumps. **Results:** The results of the present study do not demonstrate significant treatment effects on myoelectric and kinematic parameters. However, real acupuncture tends to result in a relative decrease in the duration of ground contact accompanied by increased muscular innervation. **Conclusion:** Acupuncture treatment had no significant impact on muscular performance of lower leg in stretch-shortening cycle under the present conditions. As to further research, the potential efficacy of acupuncture for improving reactive strength should be investigated in terms of controlled trials with stratified randomization according to physical performance capacity.

Einleitung

Die Auswirkungen von Akupunktur auf die körperliche Leistungsfähigkeit wurden bereits in einzelnen wissenschaftlichen Studien untersucht. Neben der Erfassung des subjektiven Anstrengungsempfindens [1] konzentrierten sich unterschiedliche Autoren auf die Evaluation hämodynamischer, kardiorespiratorischer und neuromuskulärer Wirkeffekte [2–4]. Berichtet wird unter anderem von Verbesserungen des Maximalkraftniveaus, des neuromuskulären Antwortverhaltens sowie der körperlichen Leistungsfähigkeit [2, 4, 5]. Keine signifikanten Veränderungen physiologischer Parameter konnten bei fahrradergometrischer Belastung nachgewiesen werden [1]. Aufgrund der teilweise kontroversen Ergebnislage und der Evidenz erzielter Resultate fordern Pelham et al. [6] in ihrer Übersichtsarbeit die Planung und Durchführung weiterer kontrollierter Studien. Von besonderem Interesse ist die Evaluation neuromuskulärer Effekte der Akupunkturbehandlung bei plyometrischen Belastungen. Die vorliegende Arbeit untersucht deshalb, im Sinne einer Vorstudie in placebokontrolliertem Design, die Auswirkungen einer standardisierten Nadelakupunktur auf myoelektrische und kinematische Zielgrößen bei einbeinigen Nieder-Hochsprüngen (Drop-Jump).

Probanden und Methode

Die doppelblinde, randomisiert ausbalancierte, cross-over-kontrollierte Studie wurde an einer Ad-hoc-Stichprobe von 12 Sportstudentinnen und Sportstudenten im Alter von 22–27 Jahren ohne bisherige Akupunkturerfahrung durchgeführt. Als Ausschlusskriterien galten Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems, koronare Herzkrankheiten, neurologische und psychiatrische Erkrankungen sowie die Einnahme kardial wirksamer Medikamente. Die Untersuchungen fanden in Räumlichkeiten der Universität Frankfurt statt. Die Akupunktur wurde von einem ärztlichen Dozenten der Deutschen Ärztesellschaft für Akupunktur e.V. (DÄGfA) mit B-Diplom durchgeführt. Versuchsleiter und Akupunkteur waren nicht identisch. Tester und Akupunkteur wurden zum Ausschluss möglicher Untersuchereinflüsse über den gesamten Studienzeitraum konstant gehalten. Die Wahl der Akupunkturschemata und die Durchführung der Akupunktur erfolgten unter anderem in Anlehnung an Ehrlich und Haber [2], Karvelas [1] und Ludwig [4] sowie auf Grundlage von Expertenmeinungen der DÄGfA und unter Berücksichtigung der STRICTA-Empfehlungen zur Qualitätsverbesserung von Akupunkturstudien [7]. Die Probanden unterliefen im Abstand von mindestens 1 Woche folgende drei Interventionen:

1. Verumpunkt-Akupunkturgruppe

Nadelung der klassischen chinesischen Körperakupunkturpunkte Zu San Li (Magen 36; beidseitig), San Jin Jiao (Milz 6; beidseitig) und Qi Hai (Konzeptionsgefäß 6) sowie des Ohrakupunkturpunktes Shen Men (beidseitig). Die Nadeln (Körperakupunktur: Dongbang®, 30 × 0,3 mm; Ohrakupunktur: Seirin®, 15 × 0,2 mm) wurden nach kurzer manueller Stimulation 15 min belassen und dann entfernt.

2. Placebopunkt-Akupunktur

Nadelung an folgenden nicht in klassischen Akupunkturwerken beschriebenen Körperarealen:

- Placebopunkt 1: 1 cun kranial und ventral von San Yin Jiao; beidseitig;
 - Placebopunkt 2: 3 cun kaudal eines Orientierungspunktes auf Hälfte der Strecke Zu San Li und ventral-distalem Rand des Fibulaköpfchens (Yang Lin Quiao); beidseitig;
 - Placebopunkt 3: Auf der Laterallinie auf der Hälfte der Strecke 12. Rippenbogen – Christa iliaca;
 - Placebopunkt 4: Am Ohr, das Areal an der ventralen Helixkrempe auf Höhe des Crus inferior anthellicis; beidseitig;
- Die Nadeltechnik erfolgte analog zur Verum-Akupunktur.

3. «Do Nothing»

Die Probanden wurden angewiesen, im Verlauf der Wartekontrollbedingung 15 min ruhig in entspannter Liegeposition in Rückenlage zu verweilen.

Testdurchführung

Im Vorfeld der Untersuchung wurde die Sprungbeinpräferenz durch individuelles Nachfragen ermittelt und für alle Testungen konstant gehalten. Zur Durchführung der einbeinigen Drop-Jumps standen die Probanden auf einer 17 cm hohen Stufe mit auf den Beckenkämmen abgestützten Händen. Nach Aufforderung wurde das Testbein in die Vorhalte gebracht und die Probanden ließen sich einbeinig auf die unmittelbar vor der Stufe positionierte Kontaktmatte fallen, um dort möglichst schnell (minimale Bodenkontaktzeit) maximal hoch wieder abzuspringen [8]. Pro Testsituation wurden drei aufeinander folgende Tief-Hochsprünge absolviert. Untersuchungen zur Reliabilität dieses Verfahrens ergaben Korrelationskoeffizienten von $r \geq 0,82$ in einem Test-Retest-Design [9]. Das Zeitintervall zwischen Beendigung der Akupunktur-Intervention und Beginn der Testdurchführung war für alle Probanden < 5 min.

Messinstrumente

Zur Erfassung der sagittalen Winkel-Zeitverläufe des Kniegelenks diente ein als hinreichend präzise und reliabel beschriebenes PC-gestütztes 3D-Echtzeit Ultraschalltopometriesystem (Zebris® CMS 70; Isny, Deutschland) [10, 11]. Die dreidimensionalen Winkelmerkmale wurden unter Verwendung zweier T-förmiger Kunststoffträger mit jeweils 3 Ultraschallmarkern, so genannten Triplets, erfasst. Diese wurden mit Klebestreifen fixiert und zusätzlich mit Klettband gegen Verrutschen gesichert. Die Messrate pro Ultraschallmarker betrug 25 Hz. Alle Messungen wurden online dargestellt und zur weiteren Datenverarbeitung digital gespeichert. Synchron erfolgte mit einer portablen 16-Kanal-Elektromyographieanlage (Biovision; Wehrheim, Deutschland) und bipolaren Oberflächen-elektroden (Ag/AgCl, Blue Sensor N-00-S, Medicotest; Andernach, Deutschland) die unilaterale Ableitung der Oberflächenelektromyogramme des M. (Musculus) rectus femoris und M. gastrocnemius [12]. Die Elektrodenpositionen wurden gemäß internationaler Standards [13, 14] durch Palpation identifiziert, die Körperbehaarung im Bereich der Elektrodenpositionen rasiert, die Haut mit Alkohol gereinigt und mit Sandpapier aufgeraut. Anschließend wurden die Elektroden mit einem Interelektrodenabstand von 2 cm in Faserverlaufsrichtung appliziert und zusätzlich mit Klebevlies gegen Verrutschen gesichert. Die elektromyographischen Potentiale wurden mit einer Frequenz von 1000 Hz pro Muskel abgetastet, online dargestellt und über einen programmgesteuerten A/D-Wandler digital gespeichert. Die myoelektrischen Signale wurden in unmittelbarer Nähe des Ableitungsortes verstärkt (Eingangsimpedanz: 10 GOhm, Bandpassfilter analog 10–700 Hz, Gain: 2500). Die Bodenkontaktsignale wurden parallel mit identischer Einzugsfrequenz registriert. Die Sensitivität der Kontaktmatte wurde im Vorfeld jeder Messung kalibriert, so dass unmittelbar mit Bodenkontakt steil aufsteigende Signalfanken beobachtet werden konnten.

Signalanalyse

Alle kinematischen und elektromyographischen Signale wurden im Anschluss an die Messung auf Nulllinienschwankungen und Artefaktfreiheit kontrolliert. Hauptzielparameter der Untersuchung war die auf Grundla-

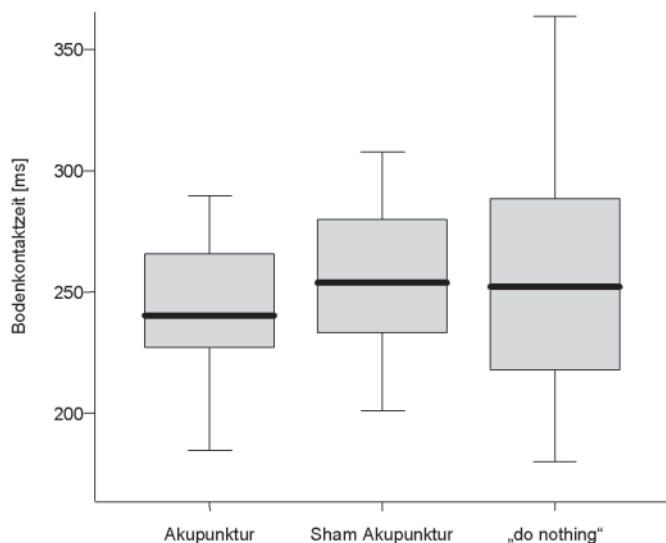


Abb. 1. Box-Plot mit Minima, Maxima, Median und Interquartilbereich der Bodenkontaktdauer (ms) in Abhängigkeit der Versuchsbedingung.

ge der Flugzeit errechnete Sprunghöhe. Als Nebenzielparameter dienten Bodenkontakt- und Flugdauer sowie die amplitudennormierten myoelektrischen Potentiale des M. rectus femoris und M. gastrocnemius in der exzentrischen (Bodenkontakt bis Kniewinkelmaximum) und konzentrischen (Kniewinkelmaximum bis Ende Bodenkontakt) Kontraktionsphase. Die Amplitudennormierung erfolgte für Oberschenkel- und Wadenmuskulatur in Relation zur jeweils in der vollständigen Bodenkontaktphase gemessenen Gesamtaktivität. Die Parameter des anhand BDJ-Index [15] (Bounce Drop-Jump Index = Sprunghöhe [cm] / Bodenkontaktzeit [s]) identifizierten besten Sprungs pro Testsituation wurden zur Auswertung herangezogen.

Statistik

Die statistische Aufarbeitung der Daten erfolgte mittels SPSS für Windows (Version 12.0). Die Unterschiedsprüfung zwischen Untersuchungsbedingungen erfolgte unter Verwendung von Friedman-Rangvarianzanalysen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde bei zweiseitiger Fragestellung für alle statistischen Analysen a priori auf 5% gesetzt.

Ergebnisse

Die Resultate der kinematischen Messungen weisen für keinen der untersuchten Parameter auf signifikante Unterschiede in Abhängigkeit der Versuchsbedingungen hin. Die anhand der gemessenen Flugzeiten indirekt ermittelten Sprunghöhen zeigen keine systematischen Veränderungen zwischen den untersuchten Versuchsbedingungen Verumpunkt-Akupunktur (8–22 cm), Placebopunkt-Akupunktur (10–21 cm) und «Do Nothing» (9–22 cm). Allerdings deuten der graphische Vergleich (Abb. 1) sowie die Individualanalyse der Bodenkontaktzeit nach Nadel- bzw. Sham-Akupunktur im Vergleich zur Referenzmessung ohne Intervention («Do Nothing») bei 7 bzw. 5 der insgesamt 12 Untersuchten im Median auf eine relative Verkürzung von fast 10% (Akupunktur: –6 bis –74 ms; Sham-Akupunktur –3 bis –30 ms) hin. Gleichzeitig zeigt sich

im Anschluss an beide Akupunkturbehandlungen ein Rückgang der Zwischenpersonendivergenzen, gekennzeichnet durch die Spannweitenreduktion (Abb. 1). Mit einer Reduktion der Bodenkontaktdauer und gleichzeitiger Zunahme der Flugzeit im Vergleich zur Referenzmessung («Do Nothing») reagieren nach Akupunktur zwei und in Folge der Sham-Behandlung drei Probanden.

Die inferenzstatistische Überprüfung auf interventionsabhängige Veränderungen elektromyographischer Zielgrößen weist ebenfalls keine signifikanten Rangsummenunterschiede auf dem 5%-Niveau aus. Jedoch lässt sich anhand des ermittelten p-Wertes ($p = 0,076$) für die relative Höhe myoelektrischer Aktivität des M. Rectus femoris in der exzentrischen Kontraktionsphase die Tendenz einer Veränderung des neuromuskulären Rekrutierungsverhaltens im Sinne einer gesteigerten muskulären Innervation nach Verumpunkt-Akupunktur erkennen. Diese Anzeichen werden durch die Häufigkeitsverteilung bestätigt, die für 10 der Probanden nach Nadelakupunktur einen Anstieg der exzentrischen Kniestreckeraktivität erkennen lässt. Die Berechnung des 95%-Konfidenzintervalls (3,1–10,5%) relativer EMG-Veränderung in der exzentrischen Kontraktionsphase verstärkt diesen Gesamteindruck, kennzeichnet jedoch gleichzeitig das vergleichsweise geringe Ausmaß akupunkturattribuierbarer myoelektrischer Effekte.

Diskussion

Für die Optimierung sportlicher Leistungsfähigkeit und Fitness spielen insbesondere die konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit eine wichtige Rolle. Im Rahmen der vielschichtigen Bemühungen um eine Verbesserung dieses Leistungsniveaus wurden auch Untersuchungen mit Akupunkturstimulation durchgeführt. Akupunkturstudien von Yim [3] fanden bei fahrradergometrischer Belastung eine reduzierte maximale Herzfrequenz und eine erhöhte Sauerstoffaufnahme. Diese Ergebnisse konnten jedoch von Karvelas et al. [1] nicht bestätigt werden. Andere wissenschaftliche Untersuchungen beschäftigen sich mit den potentiellen Effekten der Nadelakupunktur auf das Kraftverhalten. Bei schnellkraftorientierten Sportarten besitzen insbesondere Muskelaktionsformen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) eine exponierte Relevanz, da Schnellkraftleistungen im DVZ eine vergleichsweise höhere mechanische Effizienz aufweisen als konzentrische Kontraktionsformen. Güllich und Schmidtbleicher [16] zufolge beinhalten zirka 90% aller sportlichen Bewegungen Muskelaktionsformen im DVZ. Untersuchungen von Ludwig [4, 17] weisen darauf hin, dass die Stimulation mittels Nadelakupunktur zu einer Steigerung des Aktivierungsgrades und somit zu einer verbesserten Ausnutzung des vorhandenen neuromuskulären Potentials führt. Auf Grundlage dieser Resultate wurde hypothetisiert, dass eine durch Akupunktur gesteigerte muskuläre Innervationsaktivität zu einer Optimierung des reaktiven Bewegungsverhal-

tens bei raschen Dehnungs-Kontraktions-Folgen führt. Es war Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Auswirkungen einer standardisierten Nadelakupunktur auf die reaktive Sprungleistungsfähigkeit zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden akupunkturinduzierte Veränderungen ausgewählter myoelektrischer und kinematischer Zielgrößen bei einbeinigen Nieder-Hochsprüngen (Drop-Jump) erfasst. Wenngleich sich im Hinblick auf Sprunghöhe und elektromyographische Messgrößen keine signifikanten Einflüsse der Nadelakupunktur auf das reaktive Bewegungsverhalten ergeben, zeigt sich nach Sham- bzw. Verum-Akupunktur, wenn auch statistisch nicht signifikant, eine relative Verkürzung der Bodenkontaktzeiten um zirka 10%. Diese vergleichsweise bessere reaktive Sprungleistungsfähigkeit in der exzentrischen Kontraktionsphase ist unter Umständen auf die tendenziell zu 7% verbesserte Ausnutzung des vorhandenen neuromuskulären Potentials zurückzuführen. Diese Hinweise stehen in Einklang mit einigen wenigen in der Literatur vorliegenden Studien, die positive Effekte der Akupunktur auf die neuromuskuläre Aktivität demonstrieren. Ludwig et al. [4] führen die in ihrer randomisierten, placebokontrollierten einfachblinden Studie ermittelten Steigerungen (Ma32-Futu und Ma36-Zusanli) der isometrischen Maximalkraft der Kniegelenksextensoren um 10% auf die akupunkturinduzierte Erhöhung der myoelektrischen Aktivität um 29% zurück. Toma et al. [5] untersuchten das neuromuskuläre Antwortverhalten der Kniegelenksflexoren mittels simultaner dynamometrischer und elektromyographischer Messungen in einer kontrollierten Studie. Diese Autoren konnten zeigen, dass eine einmalige Stimulation des M. semitendinosus mittels Metallnadel zu einer signifikanten Erhöhung der myoelektrischen Aktivität führte. Die dynamometrisch erfassten Parameter hingegen blieben unverändert. Keine signifikanten Veränderungen der dynamometrisch und elektromyographisch erfassten neuromuskulären Leistungsfähigkeit der Unterarmflexoren konnten in einer kontrollierten Studie von Toma et al. [5] nachgewiesen werden. Aus methodischer Sicht sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Nadelapplikation bei diesen Untersuchungen nicht an definierten Akupunkturpunkten erfolgte. Weiterhin ist im Hinblick auf eine einordnende Diskussion der vorliegenden Ergebnisse zu berücksichtigen, dass die in anderen Akupunkturstudien untersuchten Veränderungen der neuromuskulären Aktivierung, dynamisch-konzentrische Kontraktionsformen erforschten und somit unterschiedliche Dimensionen des neuromuskulären Kraftverhaltens abbilden. Nieder-Hochsprünge (Drop-Jump) hingegen stellen exzentrisch-konzentrische Muskelaktionen in Form eines schnell ablaufenden DVZ dar (<200 ms), der spezifische Anforderungen an das neuromuskuläre System stellt. (Vorinnervation, Reflexaktivität, inter- und intramuskuläre Koordination) [16]. Eine Maskierung des in der vorliegenden Studie identifizierten Akupunktur-Potentials zur Steigerung der Sprungleis-

tungsfähigkeit ist aufgrund der Stichprobenselektion nicht auszuschließen. Differierende sportartspezifische Beanspruchungsprofile im Probandenkollektiv lassen Divergenzen hinsichtlich der konditionellen Leistungsfähigkeit vermuten. Möglicherweise wird das Ausmaß akupunkturinduzierbarer Effekte durch beanspruchungsspezifische Adaptationen im Sinne von veränderten morphologischen und physiologischen Einflussgrößen des Kraftverhaltens mitbestimmt. Eine noch stringenter und an der sportmotorischen Leistungsfähigkeit stratifizierte Zuordnung sollte im Rahmen zukünftiger Studien zur Überprüfung leistungssteigernder Effekte der Akupunktur berücksichtigt werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass akupunkturinduzierbare Effekte nicht ausschließlich durch singuläre Nadelung, sondern teilweise nur durch iterative Stimulation evoziert werden [18, 19]. Diese Annahme wird von aktuellen Studienergebnissen gestützt, die eine erhöhte Erregbarkeit spinaler Motoneuronen nach repetitiver Akupunkturstimulation (4 Wochen, 8 Behandlungen) nachweisen, wohingegen keine Akuteffekte nach der ersten Nadelung beobachtet werden konnten [20]. Unter Berücksichtigung dieser Daten ist es denkbar, dass weitere Wirkeffekte der Akupunktur, im Sinne neurophysiologischer Adaptationsprozesse, erst durch wiederholte Reizdarbietung induziert werden und folglich zu einer Verbesserung der reaktiven Sprungleistungsfähigkeit führen könnten. Angrenzend an die Fokussierung der vorliegenden Studie auf akute Effekte sollte die Evaluation repetitiver Akupunkturbehandlungen zur Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit im DVZ Gegenstand zukünftiger Forschungsbemühungen sein.

Aus dem vorliegenden Studienansatz zur Steigerung der reaktiven Leistungsfähigkeit bei Gesunden ergeben sich ferner klinische Implikationen der Anwendbarkeit der Akupunktur im Rahmen erweiterter rehabilitativer Therapieansätze zur Behandlung neuromuskulärer Funktionsstörungen, wie z.B. Paresen und Spastiken bei Schlaganfallpatienten, die mit pathologischen Veränderungen der Erregbarkeit spinaler Alpha-Motoneurone assoziiert sind. Allerdings lässt sich die Frage nach den neurophysiologischen Effekten der Akupunktur in diesem Zusammenhang nicht abschließend beantworten. Aktuelle Studien zeigen Steigerungen der Alpha-Motoneuronenexzitabilität [20], ebenso wie Reduktionen und keine signifikanten Veränderungen [21]. Weitere Studien, die möglicherweise zu einem differenzierteren Verständnis neurophysiologischer Wirkeffekte der Akupunktur beitragen, sind erforderlich, um einen an spezifischen pathophysiologischen Mechanismen orientierten Einsatz dieses Therapieverfahrens bei definierten neuromuskulären Funktionsstörungen ermöglichen zu können. Weiterhin erscheinen Untersuchungen zur Spezifität unterschiedlicher Akupunkturschemata im Hinblick auf die verschiedenen Dimensionen der muskulären Leistungsfähigkeit sinnvoll.

Literatur

- 1 Karvelas BR, Hoffman MD, Zeni AI: Acute effects of acupuncture on physiological and psychological responses to cycle ergometry. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77:1256–1259.
- 2 Ehrlich D, Haber P: Influence of acupuncture on physical performance capacity and haemodynamic parameters. *Int J Sports Med* 1992;13:486–491.
- 3 Yim M-J: Acupuncture: Preliminary report of its role as a stimulus for cardiorespiratory enhancement in swimmers. *Med Sport Sci* 1987;24:23–29.
- 4 Ludwig M: Einfluss der Akupunktur auf die Leistungsfähigkeit der Quadrizepsmuskulatur. *Dtsch Z Akupunkt* 2000;2:104–107.
- 5 Toma K, Conatser RR, Gilders RM, Hagerman FC: The effects of acupuncture needle stimulation on skeletal muscle activity and performance. *J Strength Conditioning Res* 1998;12:253–257.
- 6 Pelham TW, Holt LE, Stalker R: Acupuncture in human performance. *J Strength Conditioning Res* 2001;15:266–271.
- 7 MacPherson H, White A, Cummings M, Jobst K, Rose K, Niemtow R: Standards for Reporting Interventions in Controlled Trials of Acupuncture: The STRICTA Recommendations. *Acupunct Med* 2002;20:22–25.
- 8 Pfeifer K, Banzer W: Motor performance in different dynamic tests in knee rehabilitation. *Scand J Med Sports* 1999;9:19–27.
- 9 Pfeifer K: Bewegungsverhalten und neuromuskuläre Aktivierung nach Kreuzbandrekonstruktion. *Neu Isenburg, LinguaMed*, 1996.
- 10 Himmelreich H, Stefanicki E, Banzer W: Die ultraschallgesteuerte Antropometrie (UGA) – zur Entwicklung eines neuen Verfahrens in der Asymmetriediagnostik. *Sportverletz Sportschaden* 1998; 2:60–65.
- 11 Vogt L, Banzer W: Reproduzierbarkeit von Wirbelsäulenbewegungen mit der 3D-Ultraschalltopometrie. *Phys Rehab Kur Med* 1997;7:21–25.
- 12 Pfeifer K, Vogt L: Elektromyographie (EMG); in Banzer W, Pfeifer K, Vogt L (Hrsg): Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin. Berlin, Springer, 2004, pp 166–182.
- 13 Winter DA, Rau G, Kadefors R: Units, Terms and Standards in the Reporting of EMG Research. Report by the AdHoc Committee of the International Society of Electrophysiological Kinesiology. Montreal, Dept of Medical Research, Rehabilitation Institute of Montreal, 1980.
- 14 Hermens HJ, Freriks B: The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: A proposal for sensor placement procedures. SENIAM-deliverable 5, Roessingh Research and Development b.v., 1997.
- 15 Kilty J: Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Conditioning Res* 2001;15:326–331.
- 16 Güllich A, Schmidtbleicher D: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 1999;50:223–234.
- 17 Ludwig M: Verbesserung der Trainierbarkeit der Quadrizepsmuskulatur nach vorderer Kreuzbandplastik durch Akupunktur. *Dtsch Z Sportmed* 2001; 52:100–103.
- 18 Karst M, Scheinichen D, Rueckert T, Wagner T, Wiese B, Fink M: Acupuncture has no immediate treatment effect on the neutrophil respiratory burst: A randomized single-blinded two period crossover study. *Brain Behav Immun* 2002;16: 813–816.
- 19 Karst M, Scheinichen D, Rueckert T, Wagner T, Wiese B, Piepenbrock S, Fink M: Effect of acupuncture on the neutrophil respiratory burst: a placebo-controlled single-blinded study. *Complement Ther Med* 2003;11:4–10.
- 20 Fink M, Rollnik JD, Bijak M, Borstädt C, Däuper J, Guerguelcheva V, Dengler R, Karst M: Needle acupuncture in chronic poststroke leg spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:667–672.
- 21 Chan AK, Vujnovich A, Bradnam-Roberts L: The effect of acupuncture on alpha-motoneuron excitability. *Acupunct Electrother Res* 2004;29:53–72.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Markus Hübscher M.A.
Geburtsdatum: 23. Mai 1978
Geburtsort: Frankfurt am Main
Familienstand: ledig

Schulausbildung

1988-1998 Ziehen-Gymnasium in Frankfurt
Abschluss Abitur

Zivildienst

1998-1998 Evangelische Emmausgemeinde in Frankfurt

Hochschulbildung

1999 – 2005 Studium an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt
Abschluss: Magister Artium in den Fächern Sportwissenschaften,
Sportmedizin und Psychologie, **Gesamtnote: sehr gut**

Berufliche Tätigkeit

1999-2001 freier Mitarbeiter der Hauck & Aufhäuser Privatbankiers in Frankfurt
2001-2002 freier Mitarbeiter der Sportschule Schwebe in Oberursel
2002-2005 freier Mitarbeiter der Physio Tec GmbH in Frankfurt
seit 2005 freier Mitarbeiter bei Reaktiv, Institut für medizinische Sporttherapie in
Kronberg
seit 2005 Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für
Sportwissenschaften, Abteilung Sportmedizin,
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Praktika

10/2000 – 11/2002 Karateverein Oberursel
02/2002 – 04/2002 Physio Tec GmbH Frankfurt
07/2002 – 10/2002 Sportschule Schwebe in Oberursel

Mitgliedschaften

European College of Sport Science (ECSS)

Übungsleiterlizenzen

A-Trainer Lizenz Deutsche Fitnesslehrer Vereinigung (DFLV)

Übungsleiter für ambulante Herzsportgruppen

Zuwendungen

Stipendium des DAAD für Abschlussarbeiten von Studierenden an der "Faculty of Electrical Engineering" der "University of Ljubljana" (2004).

Reisekostenunterstützung der Vereinigung von Freunden und Förderern der Johann Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt am Main e.V. zur Teilnahme am 10th Annual Congress of the European College of Sport Science, July 2005, Belgrade.

Reisekostenunterstützung der Vereinigung von Freunden und Förderern der Johann Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt am Main e.V. zur Teilnahme am 11th Annual Congress of the European College of Sport Science, July 2006, Lausanne.

Fremdsprachen

Englisch (gut)

Französisch (Grundlagen)

Computerkenntnisse

MS-Windows, Word, Excel, Power Point, SPSS



Frankfurt, den 25. April 2007

Erklärung

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Akupunktur und Sportmedizin –
Wirkeffekte und Anwendungsperspektiven“ selbständig verfasst sowie nur die in der
Dissertation angegebenen Hilfsmittel in Anspruch genommen zu haben.

Es handelt sich bei dem vorliegenden Antrag um mein erstes Promotionsverfahren, d.h. es
liegen keine früheren Promotionsverfahren vor. Mir ist die Promotionsordnung bekannt.



Frankfurt, den 25. April 2007