

Die Auswirkungen pulsierender elektromagnetischer Felder im Ausdauersport

Zusammenfassung

Basierend auf der Annahme, dass pulsierende elektromagnetische Felder (PEMF) bei großflächiger Anwendung auf den Körper der Verklumpung der Erythrozyten und somit einer erhöhten Sauerstofftransportfähigkeit sowie Fließeigenschaften des Blutes und auch einer verbesserten Abwehrfunktion des Körpers resultiert, wurde eine verblindete Studie zum Ausdauerverhalten unter Anwendung pulsierender Magnetfelder in Form der Hüllkurven von Sanza durchgeführt. Anhand eines Team-10-Stunden-Laufs mit dem Anreiz eines Preisgeldes wurde gewährleistet, dass die ausdauererfahrenen Athleten ihre maximale Leistungsfähigkeit ausschöpften. Im Vorfeld des Experiments wurden die Versuchspersonen anhand der Ausdauerleistungsfähigkeit (1000m-Streckentest) parallelisiert. Anhand der gelaufenen Strecke und Parametern der Herzratenvariabilität während der Laufsequenzen und während der Pausen konnte gezeigt werden, dass die Treatmentgruppe höhere bzw. signifikant unterschiedliche Ausdauerleistungen im Vergleich zur Placebogruppe erzielt.

Forschungsstand

Ausdauer bezeichnet ein Konstrukt welches einem Sportler dann zugesprochen wird, wenn mechanische Arbeit (im Sport) über einen bestimmten Zeitraum dauerhaft oder andauernd wiederholt durchgeführt wird und die daraus resultierende Leistung in Abhängigkeit von der Zeit, wenn möglich nicht oder nur geringfügig absinkt (Hegner, Hotz, & Kunz, 2005; Hegner, 2008; Hohmann, Lames, & Letzelter, 2003; Janssen, 2003). In Relation zum jeweiligen Phänomen können auch wiederholte oder andauernde Handlungen in kürzeren Zeitabschnitten als ausdauernd bezeichnet werden; dies gilt unter der Voraussetzung, dass ein als durchschnittlich zu bezeichnender Mensch diese Handlung weniger lange andauernd durchführen kann oder will.

Im Sport findet man relativ allgemeine Definitionen zur Ausdauer, ähnlich jener, die Ausdauer als Ermüdungswiderstandsfähigkeit bezeichnet (Hohmann et al., 2006). Hegner (2008, p. 182) baut die Definition der Ausdauer als psycho-physische Ermüdungsresistenz auf mentale, sensorische, sensomotorische, emotionale sowie physische Prozesse auf und meint damit, dass die sporttypische Ausdauer vorzugsweise in der Ausübung der Handlung selbst liegt aber die oben aufgeführten Dimensionen beim Zustandekommen der erbrachten Leistung berücksichtigt werden müssen.

Innerhalb der Phänomenologie der Ausdauerleistungen lassen sich schon bei einem Sprungkrafttest mit wiederholten Ausführungen nach ca. fünf bis acht Sprüngen die Veränderungen der Sprunghöhen in ihrem Rückgang als Kenzeichen der Ausdauer bezeichnen. Wobei dies in erster Linie weniger mit einer Ermüdung des System, als vielmehr mit der mangelnden Wiederherstellungsgeschwindigkeit des muskulären Stoffwechsels zusammen hängt und in der Folge, der geforderte hohe Leistungs-Output bei reduziert stattfindender Wiederherstellung (ATP-Resynthese) zu einer Reduktion der Leistung führt, die dann mit einer zeitlichen Verzögerung in einer Ermüdung münden wird. Eine solche, tendenziell ressourcenorientierte Herangehensweise wird von Janssen (2003) verfolgt, da er nicht die Ausdauerleistungsfähigkeit als grundsätzlich begrenzt vorhandene Kapazität darstellt, sondern die Leistungsfähigkeit über die Zeit (def. Ausdauer) als Energiebereitstellungseigenschaft kennzeichnet (Janssen, 2003, p. 203) und dies alleine an der Möglichkeit der Herstellung von ATP festmacht. Diesen Zusammenhang beachtend, bestünde dann die Möglichkeit, tatsächlich stattfindende Ermüdungen, bspw. auch jene die beim Laufen durch andauernde gedämpfte Schwingungen am passiven Bewegungsapparates entstehen, ebenso wie rein neuromuskuläre Ermüdungen von einer ungenügenden Wiederherstellungsgeschwindigkeit zu trennen. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass in allen genannten Prozessen, höhere Zusammenhänge aufzuweisen sind, je länger eine Ausübung dauert.

Unter sportpraktischen Gesichtspunkten werden zweifelsfrei jene Phänomene als ausdauernd bezeichnet, bei denen ein nicht regelmäßig Sporttreibender oder ein so genannter Allround- oder Freizeitsportler durch die zeitliche andauernde Ausübung an

die Grenzen seiner Leistungsmöglichkeiten stößt und dadurch deutlich in seiner Leistungsgenerierung begrenzt wird. Diese Disziplinen werden im Allgemeinen als Ausdauersportarten bezeichnet und umfassen bei hoher Intensität Zeiträume von wenigen Minuten bis hin bei mittleren oder geringen Intensitäten und/oder Bewegungsumfängen, Zeiten von bis zu 12 oder mehr Stunden. Beispiele wären hier der Ironman Triathlon auf Hawaii, 100km-Läufe, Wasa-Lauf etc.

Ausdauertraining und auch die Ausdauerleistung selbst führt in erster Linie zu einer Anpassung des Herz-Kreislaufsystems mit einhergehender Verbesserung des Immunsystems und des Blutbildes. Durch die erhöhte Schlagzahl des Herzens während der Belastung und der damit einhergehenden Zunahme der Förderleistung passt sich in der nachfolgenden Erholung der Herzmuskel an. Es kommt somit zu einer funktionellen Anpassung, dem sog. Sportherzen (Graf & Rost, 2001; Rost, 1986). Ein größerer Herzmuskel kann pro Kontraktion eine größere Menge an Blut und damit an Nährstoffen inklusive Sauerstoff zu der ausdauernd arbeitenden Muskulatur transportieren. Mit diesem mehr an Energiezuführung pro Zeiteinheit kann der Arbeitsmuskel öfter hintereinander und damit länger eine submaximale Leistung erzielen.

Die oben aufgeführten Definitionsbereiche zur Ausdauer lassen den Schluss zu, dass eine Steigerung derselben sowohl die Trainingsumfänge und -intensitäten als auch die Leistung in der geforderten Situation (Performance, Wettkampf) steigern lässt (Hohmann et al., 2003).

In den letzten Jahren gab es viele Entwicklungen im und um das (Ausdauer-) Training, die entweder direkt oder indirekt die Quantität und Qualität des Übens betrafen und dadurch eine Verbesserung der körperlichen Voraussetzungen in der durch Ausdauersport provozierten Situation hervorriefen. Neben diesen Maßnahmen wie z.B. der nichtlinearen Periodisierung, birgt die Anwendung pulsierender elektromagnetischer Felder (PEMF) eine Möglichkeit bestimmte Strukturen des menschlichen Systems so zu stimulieren, dass eine verbesserte Ausdauerleistungsfähigkeit entstehen kann.

Die Wirkungsweise eines elektromagnetischen Feldes auf den menschlichen Körper

betrifft jene Verfahren, die schon länger in der Medizin zur Wiederherstellung nach Krankheiten oder Unfällen eingesetzt werden und deren leistungsförderlichen Aspekte z. T. nachgewiesen oder auf Grund von in vitro Studien anzunehmen sind. Eine Möglichkeit, die durch die russische Weltraumforschung (wieder-) entdeckt wurde (Thuile, 2003) und in den letzten Jahren immer mehr in den Aufmerksamkeitsfokus rückte, ist die Anwendung von pulsierenden elektromagnetischen Feldern (PEMF). Sowohl Fußballbundesligisten wie Hoffenheim 1899 (Bild 16. Januar 2009), als auch holländische Eisschnellläufer und Skifahrer aus Österreich nutzen die Wirkungsweise der Magnetfelder für die Regeneration im Training bzw. in der Vorbereitung bei Wettkämpfen, die durch eine lange Anreise einen Jetlag provozieren (OSP Wien) (QUELLE XXXX).

PEMF

Magnete werden seit dem Altertum zu Zwecken der physikalischen Therapie eingesetzt. Vor 2000 Jahren wurden vorzugsweise permanente und niederfrequente pulsierende elektromagnetische Felder eingesetzt. In der evidenzbasierten Medizin sind vor allem Studien anerkannt, die eine positive Wirkung der Magnetfeldtherapie bei Knochenheilungsstörungen anzeigen. Die Vermutung ist, dass die induktiv erzeugten elektromagnetischen Ströme die Osteoblastentätigkeit stimuliert (Al Haddad et al., 2011). Nachgewiesen wurde in diesem Zusammenhang auch das Ansteigen der morphogenetischen Proteine BMP-2 und -4, sowie des Botenstoffes mRNA (Nagai & Ota, 1994), die den beschriebenen Vorgang unterstützen könnten. In einer Studie von Black wurde schon 1984 nachgewiesen, dass auch der Transduktionsbotenstoff AMP bei einer PEMF-Anwendung ansteigt. Wobei die Erkenntnisse der aufgeführten Studien nicht den Mechanismus klären können, der eine Knochenheilung, falls sie den nachgewiesen werden kann, begründet. Ebenso steht im Raum welche Applikationsform anhand der drei Variablen Flussdichte, Frequenz und Signalform sowie deren Anwendungsdauer, effektiv sei. In einer von Schmidt-Rohlfing, Silny, Gavenis und Heussen (2011) durchgeführten Metaanalyse konnten nach eingehender Prüfung 9 Studien mit insgesamt 775 Patienten ausgewertet werden. Dabei wurden nochmals zwei Subgruppen gebildet. Eine mit randomisierter Gruppenzuweisung und eine bei der von den Autoren keine

Angaben zur Randomisierung gemacht wurden. Die Ergebnisse, die sich nach einem definierten Endpunkt der knöchernen Durchbauung richteten, lassen auf einen signifikanten Unterschied zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe schließen. In der Subgruppe (drei Studien) bei der tatsächlich ein Randomisierungsverfahren angewendet wurde, ist kein signifikanter Unterschied nachzuweisen, jedoch sind Tendenzen sichtbar. In der Subgruppe (sechs Studien) ohne Angabe des Randomisierungsverfahrens wurde ein signifikanter Unterschied nachgewiesen (Schmidt-Rohlfing et al., 2011). Trotz dieses teilweise widersprüchlichen Ergebnisses tendieren die Autoren zu der Empfehlung die PEMF in der Knochenheilung, gerade nach externen oder internen Fixationen, im speziellen bei Röhrenknochen, bei Osteonekrose und Pseudoarthrose, sowie beim Einwachsen von Endoprothesen einzusetzen. Diese Annahmen begründen Schmidt-Rohlfing et al. (2011) damit, dass in den einzelnen Studien mehrheitlich ein Effekt nachzuweisen sei. In einer ähnlichen Lage sehen sich auch Hug und Rööslü (2011) die in einer umfassenden Literaturanalyse zu therapeutischen Effekten der Ganzkörperanwendung der PEMF, zu dem Schluss kommen, dass die Anzahl der Studien, die den empirischen Qualitäten (evidence based) wie doppelt verblindet und randomisiert entsprechen, zu gering sei, als das im Augenblick wissenschaftlich gesicherte Aussagen zu den positiven Effekten der PEMF möglich sind. Trotzdem, sollen die Studien, die der Zeit gesichtet werden, in vielen therapeutischen Bereichen Erfolg versprechen, Anwendung finden.

Ein vergleichbares Ergebnis, welches für die PEMF spricht, findet sich auch in der Anwendung bei Kopfschmerztherapien. In einer Literaturstudie von Vincent, Andrasik und Sherman, (2007) werden zum einen die nicht ausreichenden Qualitäten der meisten Studien betont und die wenigen Veröffentlichungen, die wenigstens einem Teil der Anforderungen entsprechen, interpretiert. Somit ist für die Autoren der Schluss zulässig, dass die PEMFT zu einer Reduktion der Kopfschmerzen beiträgt und vor allem, auf Grund der Kosten für eine Anwendung, weitere Studien folgen sollten, die neben einer Placebo Gruppe auch eine weitere tabletteninduzierte Treatmentgruppe in die Untersuchung mit einschließen.

Bei chronischen Schmerzpatienten führt eine einmalige Anwendung der PEMF zu einer

signifikanten Reduktion des Schmerzempfindens gegenüber einer Placebo Gruppe. Die damit einhergehenden Angstzustände konnten durch die einmalige Intervention nicht signifikant verändert werden. Dieses Ergebnis wurde in einem doppelt verblindeten, randomisierten Paralleldesign, sowohl bei Rheuma als auch bei Fibromyalgie Patienten nachgewiesen (Shupak et al., 2006). Im Gegensatz dazu kamen Ryang We, Koog, Jeong und Wi (2013) in ihrer Metaanalyse zu dem Ergebnis, dass bei einer entzündlichen Kniegelenkserkrankung (14 Studien) die PEMF keinen nachweislichen Einfluss auf das Schmerzempfinden habe. Jedoch wurden signifikante Unterschiede in der Kniefunktion nachgewiesen, die somit für den Einsatz der PEMF bei schmerzhaften Verschleißerkrankungen im Knie sprechen.

In einer klinischen Studie, die doppelt verblindet, Placebo kontrolliert und randomisiert durchgeführt wurde, zeigte sich, dass Patienten mit einem sog. Impingement Syndrom sowohl in der Funktion, als auch im Schmerzempfinden nach 3 und 9-Wochen Anwendung, bzw. auch 3 Monaten (Post-Treatment) nach der regelmäßigen Anwendung, eine signifikante Verbesserung vorweisen können. Wohingegen die Placebo-Gruppe erst nach 9 Wochen signifikante Veränderungen in Funktion und Schmerzempfinden erfahren. Die Schulterkraft veränderte sich signifikant in der PEMF Gruppe für die laterale Rotation nach 9 Wochen Treatment und für die mediale Rotation nach 9 Wochen Treatment bzw. bestand auch noch 3 Monaten nach dem Treatment. In diesen Parametern kam es zu keiner signifikanten Veränderung in der Placebo Gruppe. Zwischen den beiden Gruppen gab es zu keinem Messzeitpunkt signifikante Unterschiede (Galace de Freitas et al., 2013).

PEMF und sportliche Leistungsfähigkeit

Studien, die belegen könnten, dass ein Sportler in seiner Leistungsfähigkeit entweder in der Trainings- oder sogar in der Wettkampfsituation von der systematische Anwendung pulsierender elektromagnetischer Felder profitiert, liegen nicht vor. In einigen Studien finden sich zwar Hinweise auf die Wirkungen der PEMF im Sport, jedoch kann bei genauerer Prüfung nicht davon ausgegangen werden, dass die Studien wissenschaftlichen Kriterien entsprechen. So finden sich eine Anzahl von in vitro Untersuchungen, die auf

eine verbesserte Verstoffwechslung durch den Einsatz der PEMF hinweisen.

Unter anderem finden sich Hinweise aus Dunkelfeldmikroskopieaufnahmen, dass durch den Einfluss einer PEMF mit einem Magnetfeldsystem die Verklumpung der roten Blutkörperchen aufgelöst wird und eine höhere Fließdynamik nachzuweisen ist. Diese in vitro Aufnahmen lassen die Annahme zu, dass die PEMF zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit beiträgt (Thuile, 2001).

Baldi, Baldi und Lithgow (2007) untersuchten in einer Studie den Einfluss einer niedrigfrequenten Stimulation der PEMF auf Parameter der Herzratenvariabilität. In dieser Studie in der lediglich fünf Probanden deskriptiv beschrieben werden, zeigte sich zwar der systematische Einfluss der PEMF auf das Verhältnis der Low Frequency zu der High Frequency als Parameter der sympathovagalen Balance, es werden jedoch, auf Grund der geringen Stichprobe, statistische Verfahren nicht angewendet. Somit kann zwar vermutet werden, dass die PEMF positive Auswirkungen auf die HRV und damit auf die Entspannungsfähigkeit des Athleten hat, diese Hypothese muss aber erst noch geprüft werden. In der Studie von Grote et al. (2007) wurde untersucht, welche Intensitätsstufe bei einer PEMF Anwendung, welchen Einfluss auf die Erholungsfähigkeit nach sportlicher Tätigkeit besitzt. Es zeigt sich, dass ein Einfluss von Magnetfeldern auf die Erholungsfähigkeiten vorliegt. Signifikant sind die Unterschiede in den Parametern der totalen Herzratenvariabilität (TOT) und der very low Frequency (VLF). Diese Ergebnisse weisen zusätzlich noch eine nicht-lineare Abhängigkeit von der Intensität auf. Da das Ergebnis die VLF betrifft, ist davon auszugehen, dass innerhalb der ersten Phase der Erholungsfähigkeit vor allem die Thermoregulation und der periphere Blutfluss unterstützt wird.

Eine Ganzkörperapplikation von 35 μ T, 21 Tage lang vor einem Leistungstest auf einem Fahrradergometer zeigte, dass zum einen der subjektive Erschöpfungszustand als auch die maximale Sauerstoffaufnahme sich signifikant veränderten (Spodaryk & Kafka 2004 in Kafka 2007).

Die grundlegenden Wirkungen pulsierender magnetischer Felder weisen darauf hin, dass

eine Person, die Ausdauerleistung (im Wettkampf) vollbringen muss von dieser Anwendung profitiert.

Methodik

Operationale Definition

In wie weit ist der Einsatz eines pulsierenden Magnetfeldes für eine Ausdauerleistung effektiv? Dies ist die forschungsleitende Frage, die mit dieser Studie beantwortet werden soll. Durch die vorgestellten Definitionen über Ausdauer sind die zugrundeliegenden biochemischen Prozesse umso wichtiger je länger eine ausdauernde Fertigkeit durchgeführt wird. Dies würde bedeuten, dass jemand, der eine ausdauernde Leistung bringen soll, diese schneller und länger durchführt.

Das Herz bzw. die dahinter stehenden komplexen Systeme aus dem autonomen Nervensystem können über Parameter der Herzratenvariabilität beobachtet werden. Die Task Force Heart Rate Variability kennzeichnet je nach Variablen generierendem Verfahren zwei Klassen von Merkmalen:

- ◆ Variablen auf der Grundlage des Zeitbereichs und
- ◆ Variablen auf der Grundlage der frequenzorientierten Betrachtung.

Merkmale aus dem Zeitbereich nutzen die mit 4Hz abgetasteten RR-Abstand über RR-Abstand generierte Zeitreihe und beschreiben die deskriptiven Parameter dieser.

Merkmale aus dem Frequenzbereich stützen sich auf die aus der Fouriertransformation berechneten Kennwerte der RR-Zeitreihe.

Daraus resultieren folgende Merkmale

MerkmaleXXXX

Testkonzeption und –durchführung

Um die Leistungsfähigkeit abzutesten muss eine Situation geschaffen werden, in der ein Sportler an seine körperlichen Grenzen geht. Um nun diese spezielle hochbelastende Situation abzubilden wurde ein Team-10-Stunden-Lauf als Wettbewerb offeriert. Die Bewerbung geschah durch Aushänge am Institut für Sportwissenschaft, den gängigen Internetforen und Gruppen in sogenannten sozialen Medien und der direkten Bewerbung in ausdauersporttreibenden Vereinen und den speziellen Lausportläden. Diese Testsituation beinhaltet, dass jeweils drei männliche Probanden, die ausdauererfahren sind, nacheinander jeweils 40min laufen und danach 80 Minuten Pause haben. In der Pause führen sie eine Intervention mit einer speziellen PEMF Anwendung durch. Dies wird von jedem Team fünfmal durchgeführt, so dass jeder Sportler 200min (3h20min) Belastungszeit hat. In der Ausschreibung für den 10h-Lauf wurden männliche Probanden angesprochen, die eine Marathonbestzeit von um die 3:30h haben sollten.

Die Applikation mit dem PEMF wurde mit einem Magnetfeldsystem der Firma Santerra durchgeführt. Das Steuergerät besitzt einen sog. Doppelgenerator, der einmal eine bipolare Hüllkurve in einer kleinen Frequenz und innerhalb der dann eine Signalfrequenz von höherer Intensität erzeugt (Knaf, 2013). Das Steuergerät ist in der Lage unterschiedliche Applikatoren (Matte, Kissen, Stab und Plattenelektroden) bei Frequenzen von 1 – 5000Hz mit 1 μ T bis zu 10mT relativ wärmeverlustfrei anzusteuern. Für die Anwendung der Treatmentgruppe wurde die Hälfte der Steuereinheiten in so weit manipuliert, dass der zu Beginn der Anwendung zu kontrollierende Eingangswiderstand der Applikatoren im Gerät simuliert wurde. Die Probanden der Placebogruppe hatten somit die gleichen Angaben auf dem Display des Steuergeräts wie die Treatmentgruppe. Dadurch, dass wir Menschen keinen Magnetfeldsinn besitzen, ist davon auszugehen, dass die Probanden der Placebogruppe, auf Grund der fehlenden Information, gegenüber der Intervention verblinded waren.

In der Sportwissenschaft sind Untersuchungen über sportliche Faktoren in Bereichen der Leistungsfähigkeit bei kleinem n weniger gut zu randomisieren. Dies liegt daran, dass unterschiedliche Voraussetzungen im Kriterium per Definition vorliegen und es eher zufällig ist, dass randomisierte Gruppen statistisch nicht zu unterscheiden sind. Eher ist es so, dass die Gruppen in der Ausgangsleistung sich zwar verändert haben, dies aber nicht

als Unterschied nachzuweisen ist, da das Ausgangsniveau in den Kennwerten inhomogen oder unterschiedlich ist. Daher greift man in der Regel auf die Strichprobenzuordnung per Parallelisierung zurück, was bedauerlicherweise nicht den wissenschaftlichen Standards der Medizin entspricht. In unserem Fall wurde spätestens zwei Wochen vor dem Wettkampf ein 1000m-Lauf durchgeführt. Die VP wurden angewiesen so schnell als möglich zu laufen, damit die maximale Leistungsfähigkeit bestimmt werden konnte. Die Laufleistung diente dazu die Personen in leistungsgleiche oder besser nicht statistisch unterscheidbare Mannschaften zuzuweisen. Insgesamt wurden 12 Mannschaften à 3 Personen gebildet. Diese Mannschaften wurden im nächsten Schritt per Los der Treatment- bzw. der Placeboanwendung zugeordnet. (t-Wert= X.XX; p=0,XXX). Dies geschah über anonymisierte Kennziffern, so dass die Zuordnung auch gegenüber den Durchführenden verblindet war.

Frühestens drei Tage vor dem 10h-Lauf wurden alle Probanden nochmals eingeladen, damit sie vorab eine Anwendung mit dem PEMF-System der Fa. Santerra bekommen. Die Placebogruppe bekam natürlich nur eine Placeboanwendung. Vor der ersten Anwendung wurden die Kontraindikationen abgefragt. Diese betreffen im Allgemeinen die Indikatoren: Schwangerschaft, Schrittmacher auf Basis elektromagnetischer Funktion (Herzschrittmacher) oder Fieber um die 40°.

Messablauf:

Spätestens ein Stunde vor Messbeginn wurden alle Probanden instruiert wie die Messung ablaufen soll. Sie bekamen ihre Herzfrequenzgurte, die über ANT+ Protokoll funktionieren ausgehändigt und wurden im Messsystem damit registriert.

Datenverarbeitung

Die in der operationalen Definition hergeleiteten Variablen kennzeichnen die Ausdauer bzw. die Erholungsfähigkeit. Die Intervention, fünf Laufeinheiten über 40min, provoziert eine näherungsweise vollständige Ganzkörperermüdung. Somit unterliegen die Messparameter bzw. deren Varianzen dieser Veränderung und können über eine Varianzprüfung mit Messwiederholung, bei angenommener Irrtumswahrscheinlichkeit

von 5% auf ihre statistische Wahrscheinlichkeit hin überprüft werden. In der hier vorgestellten quasiexperimentellen Anordnung interessieren nicht nur die Kennwerte der Schlussfolgerung auf die Population sondern auch die Effekte, die

Datenvorbereitung

Die mit der Software Blacktusk X.X aufgezeichneten Daten wurden...

Ergebnisse

Varianzhomogenität der Variablen (kopierte Textstellen)

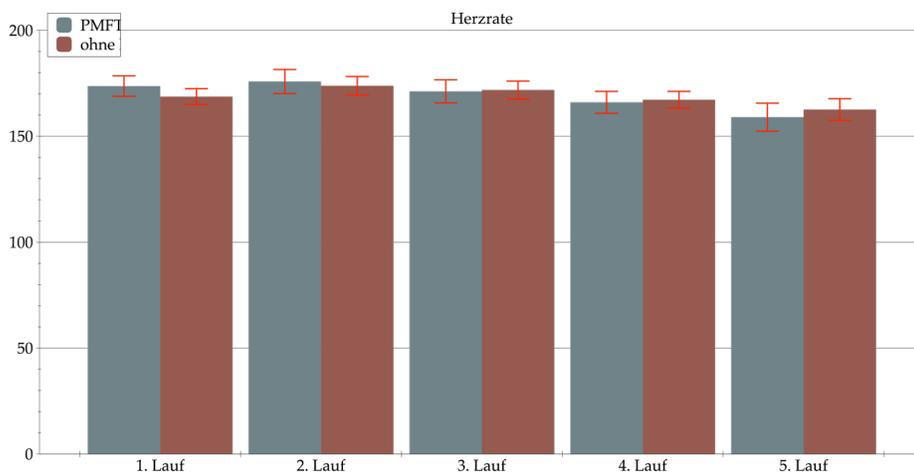
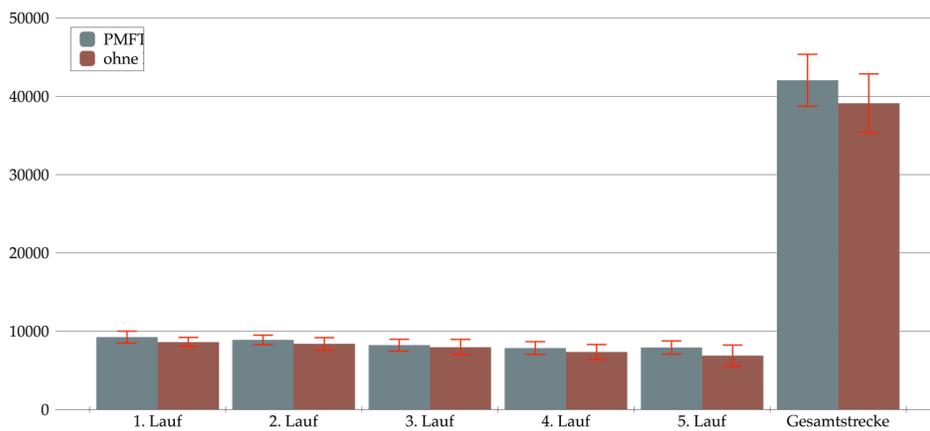
Eine wichtige Voraussetzung bei der Durchführung von ([Hegner, 2008, p. 182](#)) (ANOVA und [t-Test](#) für Mittelwertvergleiche) ist die Gleichheit der Varianzen in den zu untersuchenden Gruppen (Varianzhomogenität). Zwei mächtige und oft verwendete Tests zur Überprüfung dieser Voraussetzung sind der Levene-Test und dessen Modifikation nach Brown-Forsythe. Man sollte jedoch beachten, dass (1) die Varianzhomogenität normalerweise keine so entscheidende Voraussetzung für die Durchführung einer ANOVA ist, dies gilt besonders für balancierte Designs (mit gleichen Stichprobengrößen n ; siehe auch ANOVA: Homogenität von Varianzen und Kovarianzen), und dass (2) diese Tests, wie unten beschrieben, nicht immer sehr robust sind (z. B. bezeichneten Glass und Hopkins, 1996, S. 436 die Tests als "fatally flawed", siehe dazu auch unten die Beschreibung beider Tests). Wenn Sie wegen einer möglichen Verletzung der Voraussetzung der Varianzhomogenität unsicher sind, ist es immer empfehlenswert, die Analyse mit einem nichtparametrischen Verfahren zu wiederholen.

Levene-Test (Varianzhomogenität): Für jede [abhängige Variable](#) wird eine

Varianzanalyse für die Werte der absoluten Abweichungen von den entsprechenden Gruppenmittelwerten durchgeführt. Wenn der Levene-Test statistisch signifikant ist, sollte die Hypothese homogener Varianzen abgelehnt werden.

Laufstrecke

Bei der Analyse der Laufstrecken zeigt sich, dass sowohl der 1. Lauf als auch der 5. und letzte Lauf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aufweist. Eine Tendenz weist mit einem F von 4.135 ($\alpha=5,4\%$) die Gesamtstrecke auf.



Literatur

- Baldi, E., Baldi, C., & Lithgow, B. J. (2007). A pilot investigation of the effect of extremely low frequency pulsed electromagnetic fields on humans' heart rate variability. *Bioelectromagnetics*, 28(1), 64–68. doi:10.1002/bem.20268
- Black, J. (1984). Tissue response to exogenous electromagnetic signals. *The Orthopedic Clinics of North America*, 15(1), 15–31.
- Galace de Freitas, D., Marcondes, F. B., Monteiro, R. L., Rosa, S. G., Maria de Moraes Barros Fucs, P., & Fukuda, T. Y. (2013). Pulsed Electromagnetic Field and Exercises in Patients With Shoulder Impingement Syndrome: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. doi:10.1016/j.apmr.2013.09.022
- Graf, C., & Rost, R. (2001). *Herz und Sport: eine Standortbestimmung*. Balingen: Spitta-Verl.
- Grote, V., Lackner, H., Kelz, C., Trapp, M., Aichinger, F., Puff, H., & Moser, M. (2007). Short-term effects of pulsed electromagnetic fields after physical exercise are dependent on autonomic tone before exposure. *European Journal of Applied Physiology*, 101(4), 495–502. doi:10.1007/s00421-007-0520-x
- Hegner, J. (2008). *Training fundiert erklärt: Handbuch der Trainingslehre* (3., Aufl.). INGOLDVerlag.
- Hegner, J., Hotz, A., & Kunz, H.-R. (2005). *Erfolgreich trainieren!* (2., durchges. A.). Vdf Hochschulverlag.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (3., unveränd. A.). Limpert Verlag GmbH.
- Hug, K., & Rösli, M. (2011). Therapeutic effects of whole-body devices applying pulsed electromagnetic fields (PEMF): A systematic literature review. *Bioelectromagnetics*. doi:10.1002/bem.20703
- Janssen, P. G. J. M. (2003). *Ausdauertraining: Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung* (3. A.). Spitta.
- Knaf, E. (2013). *Praxisbuch für Anwender*. Königsbach-Stein: crealogo web & media.
- Nagai, M., & Ota, M. (1994). Pulsating electromagnetic field stimulates mRNA expression of bone morphogenetic protein-2 and -4. *Journal of Dental Research*, 73(10), 1601–1605.

- Rost, R. (1986). Das Sporthertz. In W. Hollmann & P.-O. Åstrand (Eds.), *Zentrale Themen der Sportmedizin: mit 39 Tab.* Berlin [u.a.]: Springer.
- Ryang We, S., Koog, Y. H., Jeong, K.-I., & Wi, H. (2013). Effects of pulsed electromagnetic field on knee osteoarthritis: a systematic review. *Rheumatology (Oxford, England)*, 52(5), 815–824. doi:10.1093/rheumatology/kes063
- Schmidt-Rohlfing, B., Silny, J., Gavenis, K., & Heussen, N. (2011). [Electromagnetic fields, electric current and bone healing - what is the evidence?]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 149(3), 265–270. doi:10.1055/s-0030-1250518
- Shupak, N. M., McKay, J. C., Nielson, W. R., Rollman, G. B., Prato, F. S., & Thomas, A. W. (2006). Exposure to a specific pulsed low-frequency magnetic field: a double-blind placebo-controlled study of effects on pain ratings in rheumatoid arthritis and fibromyalgia patients. *Pain Research & Management: The Journal of the Canadian Pain Society = Journal de La Société Canadienne Pour Le Traitement de La Douleur*, 11(2), 85–90.
- Thuile, C. (2001). *Studienbuch Magnetfeldtherapie MRS: Grundlagen, Studien, Erfahrungen* (1. Auflage 2001 ed.). Biomedic Media AG, St. Gallen.
- Thuile, C. (2003). *Praxis der Magnetfeldtherapie*. Ohne Ort: Eigenverlag Thuile.
- Vincent, W., Andrasik, F., & Sherman, R. (2007). Headache treatment with pulsing electromagnetic fields: a literature review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 32(3-4), 191–207. doi:10.1007/s10484-007-9045-7