

Effekte eines dynamischen Ganzkörper-EMS-Trainings auf skelettmuskuläre Anpassung und neue Belastungsmarker im Blut – Konsequenzen für die körperliche Leistungsfähigkeit.

(AZ 070101/16-17)

Andre Filipovic^{1,2}, Marijke Grau¹, Sebastian Gehlert¹, Heinz Kleinöder²
& Wilhelm Bloch¹ (Projektleitung)

¹Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Sportmedizin

²Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Einleitung

Die hier vorliegende Studie hat das Ziel, den Einfluss eines dynamischen Ganzkörper-EMS Trainings (GK-EMS), basierend auf unseren Voruntersuchungen (Filipovic et al., 2011; 2012; 2015; 2016; Suhr et al., 2009; 2012; Grau et al., 2013) auf muskulärer und zellulärer Ebene, zu untersuchen und dadurch detailliertere Rückschlüsse auf Adaptions- und Signalwege und auf die Proteinsynthese ziehen zu können. Das praxisrelevante Ziel dieser Untersuchung liegt in der Optimierung der Steuerung des EMS-Trainings für das gezielte Training zur Steigerung der Kraft- bzw. Leistungsfähigkeit im Hochleistungssport während der Wettkampfphase. Zu den aufgenommenen Untersuchungsparametern gehören neben den leistungsdiagnostischen Parametern (Maximalkraft, RFD, Leistung, vertikale Sprungkraft, VO₂Peak) die Verformbarkeit der roten Blutzellen als rheologische Parameter sowie relevante ergänzende Parameter (RBC-NOS/NO-Signalweg; vgl. Suhr et al. 2009; 2012; Grau et al., 2013). Dazu werden muskelspezifische Parameter (Muskelfasertypisierung, -verteilung und -transformation) über Muskelbiopsien, sowie verschiedene Blutparameter (Serum) zur Bestimmung muskulärer und hämatologischer Anpassungen (CK, IL6, cGMP, TBARS, MMPs, etc.) untersucht.

2 Methodik

30 Probanden wurden per Randomisierung in eine EMS-Gruppe (EG, N = 10), eine Kontrollgruppe mit Intervention (Sprüngen) (SG, N = 10) und eine Kontrollgruppe ohne Intervention (KG, N = 10) eingeteilt. Die beiden Interventionsgruppen (EG, SG) absolvierten zwei Einheiten pro Woche zusätzlich zum gewohnten Mannschaftstraining (2-4 Einheiten + Spiel). Die Kontrollgruppe (KG) absolvierte lediglich das gewohnte Mannschaftstraining und ein Wettkampfspiel am Wochenende. Die Trainingsbelastung wurde mittels Herzfrequenzmessung dokumentiert (Polar-Team 2, Polar Electro, Büttelborn, Deutschland). Das Untersuchungsdesign beinhaltet einen Eingangstest (Baseline) vor Beginn, sowie Untersuchungen nach der 7-wöchigen Trainingsperiode in Woche 8 (Ausgangstest) und eine weitere Testung nach einer 3-wöchigen Trainingspause in Woche 11 (Retest) (Abb. 1). Zu den aufgenommenen Parametern der Leistungsfähigkeit zählen die Kraftparameter der Beinmuskulatur, die vertikale Sprungkraft sowie eine Rampentest bis zu Ausbelastung mit integrierter Spirometrie für die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Für die Untersuchungen der Blutparameter wurden in den Testungen von den Probanden jeweils vor (Pre), nach 15-30 Minuten (Post) und 24 Stunden (24 h Post) nach Beendigung der

Trainingsinterventionen Blutproben entnommen. Zusätzlich wurden den Probanden jeweils 2 Wochen vor Beginn (Eingangstest) und eine Woche nach Beendigung der Trainingsphase (Woche 8) Muskelfasergewebe aus dem *M. vastus lateralis* entnommen.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die relevanten Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst angeführt und dargestellt.

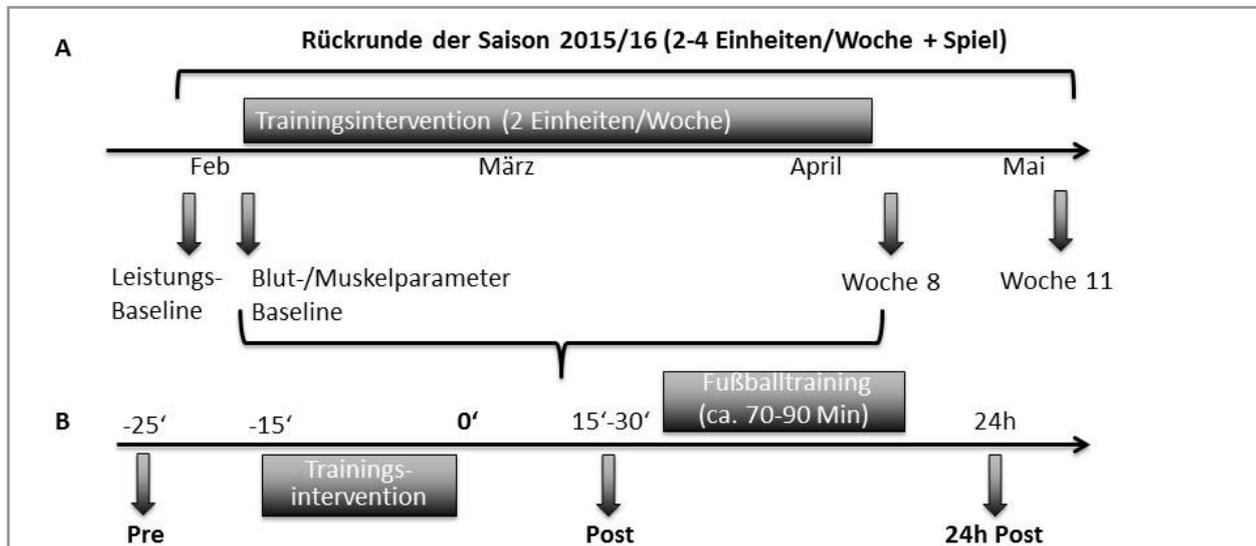


Abb 1: (A) Darstellung der zeitlichen Planung der Leistungsdiagnostiken und Blutanalysen während des Studienzeitraums in der Rückrunde der Saison. (B) Zeitlicher Ablauf der einzelnen Blutentnahmen im Eingangstest (Baseline), in Woche 8 (Ausgangstest) und im Retest in Woche 11 (Retest).

Die EG absolvierte zweimal pro Woche explosive dynamische Squat Jumps (3 x 10 Wdh, 1 min Pause) in Verbindung mit EMS. Der Einzelimpuls pro Sprung dauert 4 s (2 s exzentrisch, 1 s isometrisch (halten in der Beugstellung 90°), 0,1 s konzentrisch (maximal explosiver Sprung), 1 s Landung und Abfedern und zurückkehren in die Ausgangsstellung), gefolgt von einem 10 s Pausenintervall ohne Strom. Die dynamische EMS wurde mit einem GK-EMS-System von *miha bodytec* (Augsburg, Deutschland) appliziert. Dabei wurde mit einer Elektrodenweste die Oberkörper-Muskulatur (Brust, Lattissimus, Bauch, Unterer und Oberer Rücken) und über ein Gurtsystem die Beinmuskulatur (Gesäß, Oberschenkel, Waden) stimuliert (Impuls: Frequenz 80 Hz, Breite 350 μ s, Art bipolar/rechteckig; On-/Off Time 4 s/10 s). Um Anpassungen durch die Sprünge bzw. durch das Fußballtraining auszuschließen wurde zum Vergleich eine Sprunggruppe (SG), die die gleiche Anzahl an Sprüngen in identischer Ausführung wie die EG, jedoch ohne EMS, durchführte sowie eine Kontrollgruppe (KG, N = 10), die keine zusätzliche Intervention erfuhr, herangezogen.

3.1 Kraft- und Leistungsparameter

Die Analyse der Daten zeigt eine signifikante Erhöhung der relativen Maximalkraft (Frel) für die EG in der Leg Press und im Leg Curl sowie eine Steigerung der relativen Leistung (Prel) im Leg Curl im Ausgangstest (Abb. 2). Die Erhöhung der Frel zeigte einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Leistungsparameter. So konnte für die EG ebenso signifikante Verbesserungen der vertikalen Sprungkraft im Squat Jump und Counter-Movement Jump im Ausgangstest nachgewiesen werden. Die Reaktivkraft der Wadenmuskulatur (Drop Jump Index) zeigte jedoch keine Veränderungen im Studienverlauf. Für die SG und KG konnten keine positiven Veränderungen beobachtet werden. Nach Beendigung der Interventionsphase senkten sich die Werte in den Kraft- und Sprungparametern in der EG wieder bis zum Retest (Abb. 3).

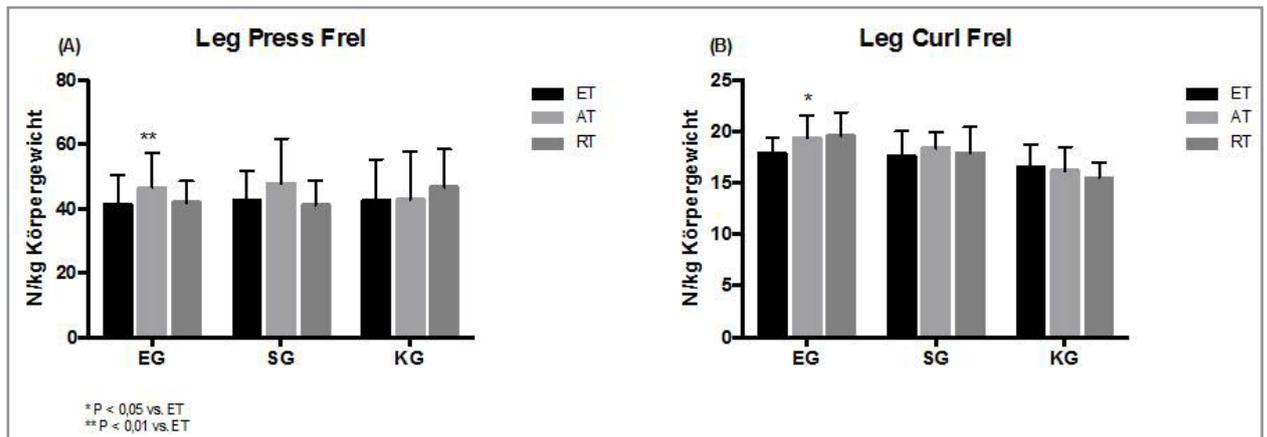


Abb. 2: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Frel Leg Press (A) und Frel Leg Curl (B) im Eingangstest (ET), im Ausgangstest (AT) in Woche 8 und im Retest (RT) 3 Wochen nach der Intervention.

Hinsichtlich der Ausdauerleistungsfähigkeit konnten in keiner der drei Gruppen signifikante Veränderungen in der relativen VO_2 Ruhe, relativen VO_2 Peak, maximale Laufzeit (TTE), maximale Laktatproduktion, Herzfrequenz und RQ bei Ausbelastung beobachtet werden. Lediglich die EG zeigte eine abnehmende Tendenz der VO_2 Ruhe-Werten (Abb. 3).

3.2 Erythrozyten-Verformbarkeit und RBC-NOS/NO-Signalweg

Die Analyse der rheologischen Parameter der Erythrozyten (RBC) per *laser-assisted optical rotational cell analyser* (LORCA; RR Mechatronics, Hoorn, the Netherlands) konnte keine akuten (Pre, Post, 24 h Post) oder chronischen

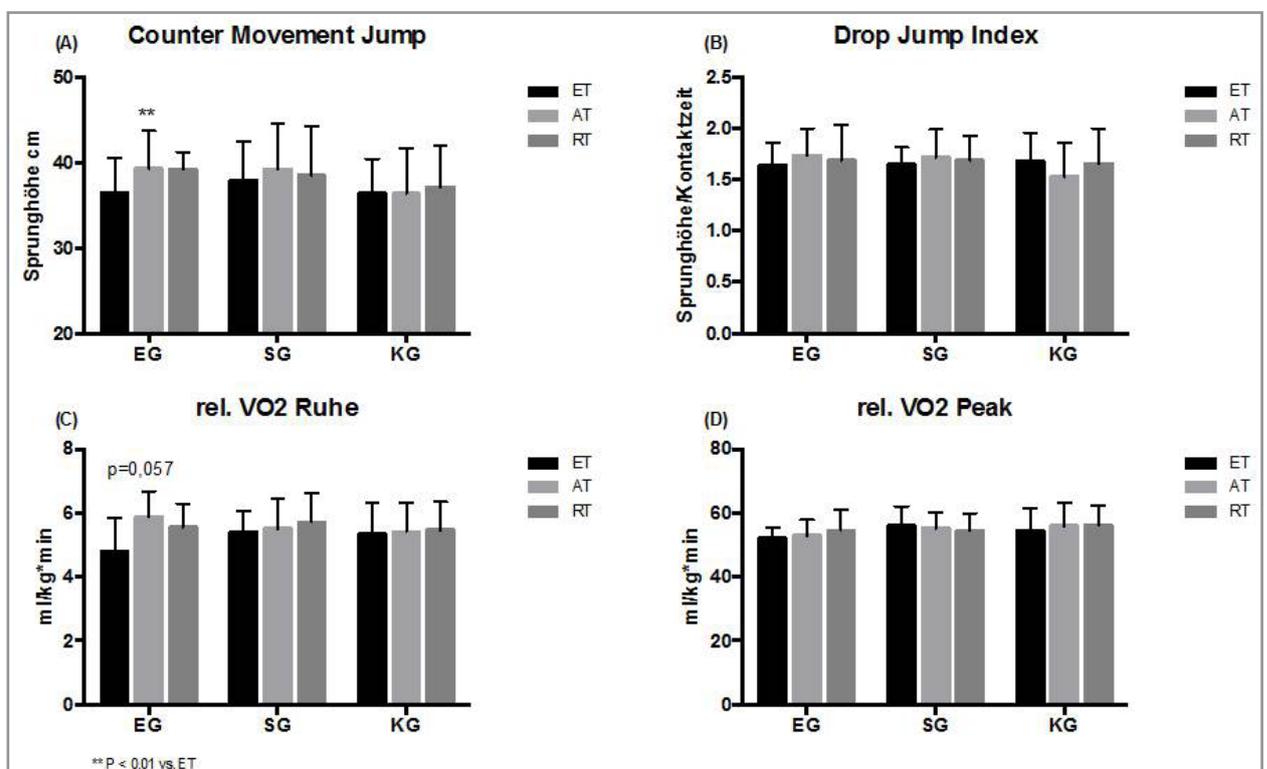


Abb. 3: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Sprunghöhe im Counter Movement Jump (A) des Drop Jump Index (B) der VO_2 Ruhe (C) und VO_2 Peak (D) im Eingangstest (ET), im Ausgangstest (AT) in Woche 8 und im Retest (RT) 3 Wochen nach der Intervention.

(Pre-Werte) trainingsbedingten Effekte auf die maximale Verformbarkeit (EImax) der gesamten RBCs (total RBC) nachweisen. Ebenso konnte die Analyse der per Dichtegradientenzentrifugation nach Alter aufgeteilten RBCs (44 %, 48 %, 52 %, 56+ %) keine Unterschiede zwischen den Gruppen sowie keine akuten oder chronischen Effekte innerhalb der Studienphase dokumentieren (Abb. 4).

zeigte keine akuten oder chronischen Veränderungen in der EG bzw. kein Unterschied in der Entwicklung der Parameter im Vergleich zu der TG und KG.

3.3 Oxidativer Stress

Die Analyse der TBARS, gemessen über das Malondialdehyde (MDA) zeigte für die EG und

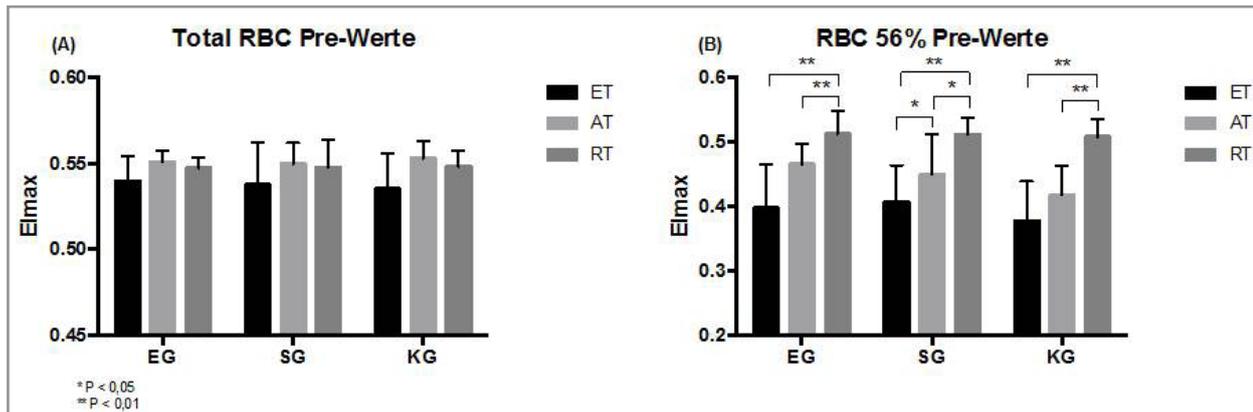


Abb. 4: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Verformbarkeit (EImax) der gesamten Erythrozyten-Fraktion (A) und der nach Dichte/ Alter aufgeteilten alten Erythrozyten (RBC 56 %) (B) im Verlauf Eingangstest (ET), im Ausgangstest (AT) in Woche 8 und im Retest (RT) 3 Wochen nach der Intervention.

Der Untersuchung der RBC-NOS-Aktivierung konnte für die EG im Eingangstest und Ausgangstest einen signifikanten Akuteffekt (Pre zu Post und Pre zu 24 h Post) am Serin1177 nachweisen. Serin116, Threonin495 sowie die totale NOS zeigten keine signifikanten Akuteffekte. Die Akt und pAkt Threonin473 zeigten im Vergleich dazu signifikant abnehmende Basalwerte in der EG im Studienzeitraum. Die Analyse des nachfolgenden NO-Signalweges (Nitrit-Messungen, S-Nitrosylation, cGMP-Konzentration)

SG eine signifikante akute Steigerung der RBC-MDA-Werte im Eingangstest. Die Plasma-Werte blieben unverändert. Im Ausgangstest konnte eine signifikante akute Abnahme der Plasma MDA-Werte in der EG und SG beobachtet werden. Die RBC-MDA-Werte blieben in allen drei Gruppen unverändert. Hinsichtlich der chronischen Effekte konnte eine signifikante Erhöhung der Plasma-Werte (Pre-Werte) im Ausgangstest für die EG und SG nachgewiesen werden (Abb. 5).

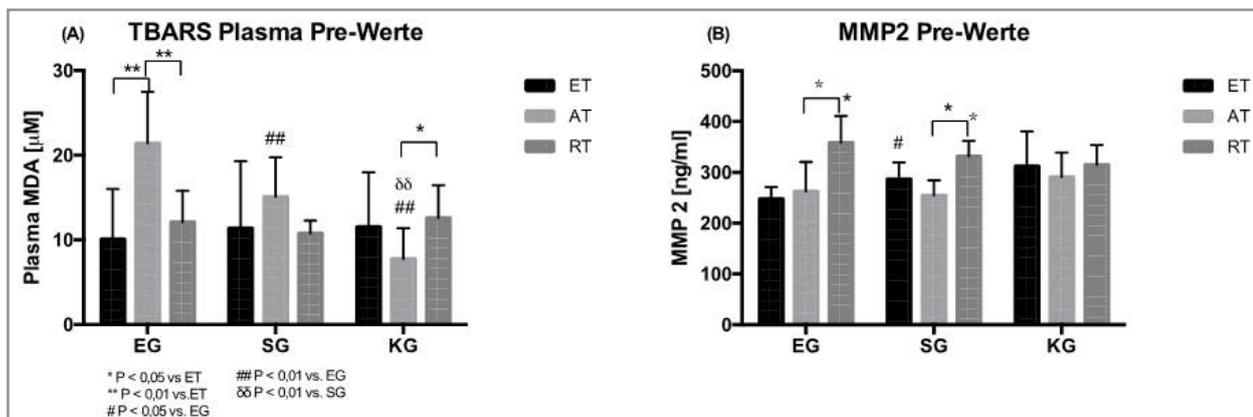


Abb. 5: Mittelwerte \pm Standardabweichung der TBARS gemessen im Plasma (A) und der MMP2 (B) im Eingangstest (ET), im Ausgangstest (AT) in Woche 8 und im Retest (RT) 3 Wochen nach Beendigung der Intervention.

Die Analyse der Metalloproteinasen (MMP) konnte eine signifikante akute Erhöhung der MMP2 von Pre zu Post in der EG und SG im Eingangstest nachweisen. Die MMP9 erhöhte sich nur in der EG von Post zu 24 h Post im Eingangstest. Ebenso konnte nur für die EG im Ausgangstest einen signifikanten Akuteffekt des MMP2 von Pre zu Post nachgewiesen werden. Hinsichtlich einer chronischen Veränderung konnte in der EG und SG eine signifikante Erhöhung der MMP2-Werte im Retest im Vergleich zum Eingangstest beobachtet werden (Abb. 5). Die MMP9 Pre-Werte blieben in allen drei Gruppen unverändert während der Studienphase.

3.4 Immunregulation (IL-6) und muskuläre Belastung (CK)

Die Untersuchung der Produktion des inflammatorischen Zytokin Interleukin 6 (IL-6), als Indikator für die Immunregulation bzw. Inflammation, konnte nur für die SG im Eingangstest eine signifikante akute Erhöhung der Serumwerte von Pre zu 24 h Post nachweisen. Hinsichtlich der langfristigen Anpassung zeigte die Analyse der Pre-Werte eine signifikante Abnahme der IL-6 Werte in der EG vom Eingangstest bis zum Retest (Abb. 6).

Die Untersuchung der Kreatinkinase (CK)-Werte zeigte für die EG eine signifikante akute Erhöhung im Eingangstest von Pre zu Post sowie von Pre zu 24 h Post und eine signifikante Veränderung der Pre-Werte vom Eingangstest zum Ausgangstest. Die EG zeigte signifikant höhere Werte im Ausgangstest im Vergleich zu der SG und KG. Mit Beendigung der Interventionsphase senkten

sich die Werte wieder auf Baseline-Niveau. In der SG und KG blieben die CK-Werte über den kompletten Studienzeitraum unverändert (Abb. 6).

3.5 Muskelfaserquerschnitt und Signalproteine

Die Auswertung der Muskelschnitte bzw. des Muskelfaserquerschnitts zeigte keine signifikante Veränderungen in keiner der drei Gruppen sowie keine Gruppenunterschiede im Eingangstest und Ausgangstest. Auch wenn mit $P = 0,051$ statistisch nicht signifikant konnte in der EG dennoch eine klare Tendenz einer Vergrößerung des Muskelfaserquerschnitts von +6,3 % in den Typ-II Fasern beobachtet werden (Abb. 7, Seite 6).

Die Western Blot-Analyse der ausgewählten Signalproteine konnte für keine der drei Gruppen signifikante Veränderung der Signalproteine mTor, p70, MURF1, pFOXO3a, Akt1 und a-tubulin im Ausgangstest nach 7 Wochen Trainingsintervention nachweisen.

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass GK-EMS eine effektive Alternative zum Krafttraining darstellt. Das in den Voruntersuchungen herausgearbeitete Stimulationsdesign (Filipovic et al., 2011; 2012) konnte erfolgreich in das Training von Leistungsfußballspielern während der Wettkampfphase integriert werden. Innerhalb von 7 Wochen (14 Einheiten) konnte eine Steigerung der Maximalkraft (Frel) der Bein Streckmuskulatur von ca. +15 % und der Beinbeugemusku-

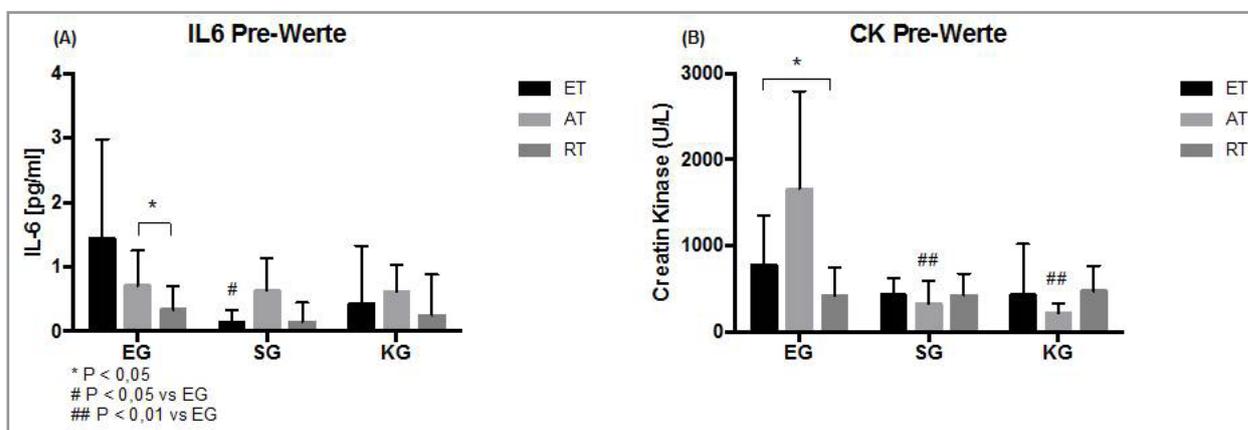


Abb. 6: Mittelwerte \pm Standardabweichung der (A) IL-6 und (B) CK Pre-Werte im Blutserum im Eingangstest (ET), im Ausgangstest (AT) in Woche 8 und im Retest (RT) 3 Wochen nach Beendigung der Intervention.

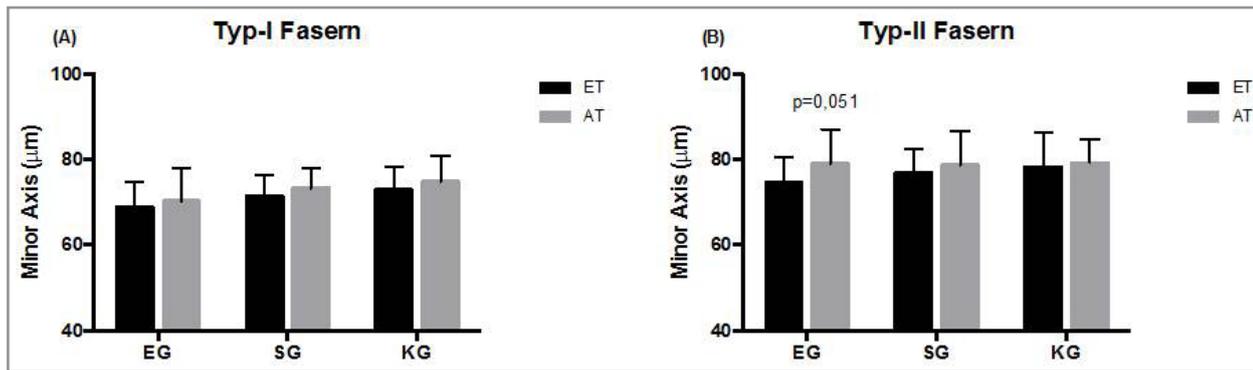


Abb. 7: Mittelwerte ± Standardabweichung des Muskelfaserquerschnitt (Minor Axis) (A) der Typ-I und (B) Typ-II Fasern im Eingangstest (ET) und Ausgangstest (AT) in Woche 8.

latur (Frel) von +8 % sowie eine Verbesserung der vertikalen Sprungkraft von +7-8 % (SJ/ CMJ) nachgewiesen werden. Von besonderer Bedeutung sind die Steigerungen der Maximalkraft in der ischiokuralen Muskulatur, da diese im Leistungsfußball einer der häufigsten muskulären Verletzungen darstellt. Die Ergebnisse in der Maximalkraft sind vergleichbar mit denen von lokalen EMS-Studien (12-28 Einheiten) mit trainierten Probanden und Hochleistungssportlern. Die Steigerungen in der Sprungkraft liegen jedoch unter denen von lokalen EMS-Methoden (Filipovic et al., 2012). Es ist anzumerken, dass in der vorliegenden Studie kein zusätzliches sprungspezifisches Training integriert wurde und die Sprünge simultan zur EMS durchgeführt wurden. Effekte der vertikalen Sprünge (3 x 10 Squat Jumps) bzw. des Fußballtrainings (2-4 Einheiten + Spiel) allein konnten erfolgreich ausgeschlossen werden. Die Daten zeigen, dass, um die Steigerungen zu stabilisieren, Fußballtraining alleine nicht ausreicht. Die Integration eines spezifischen Kraft-/Sprungkrafttrainings oder ein GK-EMS-Training weiterführend einmal pro Woche könnte sich positiv auf den Erhalt auswirken. Im Vergleich zu den Kraft- bzw. Leistungsparametern konnten keine Effekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Leistungsfußballspielern beobachtet werden.

Die Untersuchungen zu den myozellulären Anpassungen konnten erstmals GK-EMS induzierte strukturelle Umbauvorgänge nachweisen. Die Steigerung der Maximalkraft konnte in Zusammenhang mit einer Vergrößerung des Muskelfaserquerschnitts der Typ-II Fasern gebracht werden. Dieser Effekt ist bemerkens-

wert, da insgesamt nur 14 GK-EMS-Einheiten mit einer relativen kurzen Netto-Muskelspannung von 2 x 2 Minuten pro Woche ohne zusätzliches Krafttraining appliziert wurden. Eine Vergrößerung der Muskelmasse der Typ-II Fasern würde den generellen Sauerstoffbedarf der Typ-II Fasern erhöhen. Wie in Abb. 3 dargestellt, zeigte die EG eine Tendenz in der Erhöhung der VO₂ in Ruhe (P = 0,057), was auf eine Zunahme der Muskelmasse hindeuten könnte.

Die Untersuchungen der rheologischen Parameter deuten darauf hin, dass der Leistungsstand bzw. der Trainingsumfang der Leistungsfußballspieler eventuell zu gering war, um die Erythrozyten-Verformbarkeit zu erhöhen. Dies konnte durch die Untersuchungen der intrazellulären NO-Produktion und weiterführenden NO-Signalwege bestätigt werden. Eine Hypothese der vorliegenden Arbeit war es, dass eine Erhöhung der Verformbarkeit die Durchblutung bzw. die Sauerstoffversorgung der Arbeitsmuskulatur begünstigen kann und so eine Übersäuerung der Muskulatur verzögern und die maximale Laufleistung (TTE) im Rampentest verbessern könnte. Die Daten in der Verformbarkeit liefern somit ein Argument für die unveränderte Laufleistung (TTE, VO₂ Peak) im VO₂-Rampentest der Spieler. Hinsichtlich der einzelnen Erythrozyten-Fractionen (Dichtegradienten/ Alter) wies die Analyse eine signifikante chronische Erhöhung in den alten Erythrozyten (RBC +56 %) für alle drei Gruppen nach. Da alle drei Gruppen einen ähnlichen Verlauf zeigen, ist dieser Effekt vermutlich auf die Wiederaufnahme des Trainings nach einer relativ inaktiven Phase (Winterpause) zurückzuführen.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine dynamische GK-EMS hohen Stress auf das muskuläre System erzeugt, der mit einem hohen metabolischen Umsatz einhergeht. Dies konnte durch die Untersuchungen der Belastungsmarker CK-Werte und IL-6 sowie die Parameter des oxidativen Stress (MDA, MMP2, MMP9) nachgewiesen werden. Die Serum CK-Werte als Indikator für muskuläre Belastung zeigen, dass zwei GK-EMS Einheiten, zusätzlich zum gewohnten Trainingsumfang pro Woche, einen intensiven Reiz für die Muskulatur darstellen und die CK-Werte über Wochen konstant erhöhen kann. Erst nach Beendigung der Trainingsphase kehrten die Werte wieder zu den Basalwerten zurück. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen unserer Voruntersuchung mit professionellen Fußballspielern (Filipovic et al., 2016).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bilden eine wichtige Grundlage für weitere EMS-Projekte im Leistungssport. In aufbauenden Untersuchungen sollten weitere myozelluläre Adaptationsmechanismen, sowie neuronale Anpassungen untersucht werden. In diesem Zusammenhang sollte der Fokus auf neuen Belastungsmarkern liegen, um die Trainingsteuerung des GK-EMS-Trainings zu optimieren.

5 Literatur

- Filipovic, A., Grau, M., Kleinoder, H., Zimmer, P., Hollmann, W., & Bloch, W. (2016). Effects of a Whole-Body Electrostimulation Program on Strength, Sprinting, Jumping, and Kicking Capacity in Elite Soccer Players. *Journal of sports science medicine*, 15 (4), 639-648.
- Filipovic, A., Kleinoder, H., Pluck, D., Hollmann, W., Bloch, W., & Grau, M. (2015). Influence of Whole-Body Electrostimulation on Human Red Blood Cell Deformability. *Journal of strength and conditioning research*, 29 (9), 2570-2578. doi:10.1519/JSC.0000000000000916
- Filipovic, A., Kleinoder, H., Dormann, U., & Mester, J. (2011). Electromyostimulation – a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of strength and conditioning research*, 25 (11), 3218-3238. doi:10.1519/JSC.0b013e318212e3ce
- Filipovic, A., Kleinoder, H., Dormann, U., & Mester, J. (2012). Electromyostimulation – a systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 26 (9), 2600-2614. doi:10.1519/JSC.0b013e31823f2cd1
- Gehlert, S., Suhr, F., Gutsche, K., Willkomm, L., Kern, J., Jacko, D., ... & Bloch, W. (2015). High force development augments skeletal muscle signalling in resistance exercise modes equalized for time under tension. *Pflugers Archiv*, 467 (6), 1343-1356. doi:10.1007/s00424-014-1579-y
- Grau, M., Pauly, S., Ali, J., Walpurgis, K., Thevis, M., Bloch, W., & Suhr, F. (2013). RBC-NOS-dependent S-nitrosylation of cytoskeletal proteins improves RBC deformability. *PLoS One*, 8 (2), e56759. doi:10.1371/journal.pone.0056759

- Suhr, F., Brenig, J., Muller, R., Behrens, H., Bloch, W., & Grau, M. (2012). Moderate exercise promotes human RBC-NOS activity, NO production and deformability through Akt kinase pathway. *PLoS One*, 7 (9), e45982. doi:10.1371/journal.pone.0045982
- Suhr, F., Porten, S., Hertrich, T., Brixius, K., Schmidt, A., Platen, P., & Bloch, W. (2009). Intensive exercise induces changes of endothelial nitric oxide synthase pattern in human erythrocytes. *Nitric Oxide*, 20 (2), 95-103. doi:10.1016/j.niox.2008.10.004