

Aus der Klinik für Orthopädie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Rüdiger Krauspe

**Evaluation der physischen Belastung beim kompetitiven Vollkontakt-
Kampfsport Mixed Martial Arts (MMA) auf biochemischer Ebene**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Gerald Julius Christian Wiechmann

2019

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Christoph Zilkens

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Pascal Jungbluth

Meinem Vater Dr. med Julius Gerlach †2002

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Originalarbeit in einem Peer Review Journal:

Evaluation of Muscle Damage Marker after Mixed Martial Arts Matches.

Wiechmann GJ, Saygili E, Zilkens C, Krauspe R, Behringer M.

Orthop Rev (Pavia). 2016 Mar 21;8(1):6209. doi: 10.4081/or.2016.6209.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Mixed Martial Arts (MMA) stellt eine Vollkontaktkampfsportart dar, bei der sich die Athleten verschiedener Schlag- und Tritttechniken aus unterschiedlichen Kampfsportarten bedienen. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen keine Untersuchungen hinsichtlich muskulärer Schäden auf biochemischer Ebene vor.

Ziel der Studie: Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Erkenntnisgewinn über den Schweregrad und Ausmaß der physischen Belastungen des MMA Kämpfers vor, während und nach einem Kampf zu gewinnen, sowie mögliche Prädiktoren für das Ausmaß der dokumentierten Muskelschäden zu identifizieren.

Methodik: Der Schweregrad der muskulären Schäden wurde auf biochemischer Ebene durch den Nachweis der Serumaktivität der Kreatinkinase (CK) und der Konzentration des Myoglobins (Mb) unmittelbar vor und in definierten zeitlichen Abständen nach einem Wettkampf (2-, 24-, und 96 Stunden) im Blut untersucht. Insgesamt nahmen zehn freiwillige männliche MMA-Kämpfer im Alter von $28 \pm 5,7$ Jahren an der vorliegenden Studie teil. Um weitergehend relevante Variablen als Prädiktoren für das Ausmaß der Muskelschäden zu identifizieren, wurde die Anzahl der exzentrischen Kontraktionen (Schläge und Tritte, die ihr Ziel verfehlt haben), als auch die Anzahl der genommenen Schläge und Tritte, anhand von hochauflösenden (High Definition, HD) Videoaufnahmen von zwei erfahrenen und unabhängigen Ringrichtern ermittelt.

Ergebnisse: Alle MMA Athleten beendeten die Wettkämpfe ohne den Nachweis von makroskopischen Verletzungen. Die Aktivität der CK erhöhte sich deutlich im Vergleich zu den Ausgangswerten (236 ± 190 U / l), 24 Stunden nach den Kämpfen (829 ± 753 U/L) und erholte sich vollständig nach insgesamt 96 Stunden (222 ± 135 U / l). Die Konzentration an Mb im Blut erreichte zwei Stunden nach den Kämpfen das Maximum

(Pre: 29 ± 5 vs. 2 h: 210 ± 122 $\mu\text{g/L}$) und normalisierte sich ebenfalls nach 96 Stunden (35 ± 11 $\mu\text{g/L}$). Die Korrelationsanalyse für die ausgewählten Prädiktoren ergab, dass annähernd 80% der dokumentierten CK Wert Erhöhungen, überwiegend durch die genommenen Treffer auf den Ober- und Unterkörper (OBH und UBH) und teils auch durch die exzentrischen Schläge und Tritte (UKF), erklärt werden konnten, wohingegen 87% der Mb Erhöhungen hauptsächlich durch die gesamte Wettkampfdauer (TFD) und des Weiteren auch durch lower body hits (LBH) erklärt werden konnten.

Diskussion / Schlussfolgerung: Die vorliegende Studie liefert erste Ergebnisse über den Grad der Muskelschädigung auf molekularer Ebene sowie über dessen mögliche Prädiktoren bei MMA Wettkämpfen. Basierend auf diesen Daten lässt sich erstmalig ein objektiver Vergleich des Ausmaßes der muskulären Schädigung zwischen MMA und anderen Vollkontaktsportarten ziehen.

MMA Wettkämpfe führen zu einem starken Anstieg der sogenannten muscle damage marker (MDM) CK und Mb im Blut. Ferner konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl der LBH sowie die UKF und nicht zuletzt auch die TFD zur beobachteten MDM Dynamik beitrugen. Eine gänzliche Normalisierung der dokumentierten MDM ist nach einer Ruhephase von 96 Stunden zu erwarten.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass in Bezug auf muskuläre Schäden bei MMA nicht von einer übermäßigen Belastung ausgegangen werden kann. Da sich die untersuchten Parameter vollständig normalisierten, sind diesbezüglich chronische Schäden im Verlauf vermutlich nicht zu erwarten, hierfür bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen.

SUMMARY

Background: Mixed Martial Arts (MMA) is a full contact martial art in which the athletes use various strike and kick techniques from different martial arts. At the present time there are no investigations regarding muscular damage at the biochemical level.

Aim of the study: The aim of the present study was to gain insight into the severity and extent of physical stress of the MMA fighter before, during and after a fight, as well as to identify possible predictors of the extent of the documented muscle damage.

Methodology: The severity of muscular damage was assessed biochemically by demonstrating the blood serum activity of creatine kinase (CK) and the concentration of myoglobin (Mb) immediately before and at defined intervals after competition (2, 24, and 96 hours). A total of ten male volunteer MMA fighters aged 28 ± 5.7 years participated in the present study. To further identify relevant variables as predictors of the extent of muscle damage, the number of eccentric contractions (strikes and kicks that missed their target), as well as the number of strikes and kicks taken, were determined by high definition (HD) Video recordings of two experienced and independent referees determined.

Results: All MMA athletes completed the competitions without evidence of macroscopic injuries. CK activity increased significantly compared to baseline (236 ± 190 U / l), 24 hours after bouts (829 ± 753 U / L) and recovered completely after a total of 96 hours (222 ± 135 U / l) , The concentration of Mb in the blood reached the maximum two hours after the bouts (Pre: 29 ± 5 vs. 2 h: 210 ± 122 μ g / L), and also normalized after 96 hours (35 ± 11 μ g / L). Correlation analysis for the selected predictors revealed that approximately 80% of the documented CK value increases could be explained mainly by the upper and lower body hits (OBH and UBH), and partly

by eccentric strikes and kicks (UKF), whereas 87% of the Mb increase was explained mainly by the total fight duration (TFD) and lower body hits (LBH).

Discussion / Conclusion: The present study provides first clues of the degree of muscle damage at the molecular level as well as its possible predictors in MMA competitions. Based on these data, an objective comparison of the extent of muscular damage between MMA and other full-contact sports can be drawn for the first time.

MMA competitions lead to a strong increase in the so-called muscle damage markers (MDM) CK and Mb in the blood. In addition, it could be shown that the number of LBH, as well as the UKF, and not least also the TFD, contributed to the observed MDM dynamics. A full normalization of the documented MDM is expected after a rest period of 96 hours.

In conclusion, MMA cannot be assumed to be overexerted in sense of muscular damage. Since the parameters examined were completely normalized, chronic damage is unlikely to occur in the course of this, but further investigations are needed.

Abkürzungsverzeichnis

CK	-	Kreatinkinase
CT	-	Computertomographie
HD	-	High Definition
KA	-	Körperliche Aktivität
LBH	-	Obtained hits to the upper and lower body
Mb	-	Myoglobin
MDM	-	Muscle damage marker
MMA	-	Mixed Martial Arts
MRT	-	Magnetresonanztomographie
ROM	-	range of motion (Bewegungsausmaß)
RTW	-	Rettungswagen
TFD	-	Total fight duration
UKF	-	Upright punches and kicks that failed the opponent
U.S.A.	-	United States of America
z. B.	-	zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	
1.1 Geschichtlicher Wandel des Kampfsports	9
1.2 Analyseverfahren zur Dokumentation von makro- und mikroskopischen Schäden	10
1.3 Klinische Bedeutung der Parameter CK und Mb	11
1.4 Sportlicher Hintergrund	12
2. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	13
3. Publikation der Originalarbeit in einem Peer Review Journal	13
Evaluation of Muscle Damage Marker after Mixed Martial Arts Matches. Wiechmann GJ, Saygili E, Zilkens C, Krauspe R, Behringer M. Orthop Rev (Pavia). 2016 Mar 21;8(1):6209. doi: 10.4081/or.2016.6209.	
4. Diskussion	18
5. Schlussfolgerung	19
6. Literatur- und Quellenverzeichnis	20
7. Anhang	22
8. Danksagung	23

1. Einleitung

1.1 Geschichtlicher Wandel des Kampfsports

Mixed Martial Arts (MMA) ist eine Vollkontaktkampfsportart, die Athleten ein breites Spektrum an Kampftechniken aus verschiedenen Kampfsportarten wie K1, Kung-Fu, Judo, Ringen oder Boxen zur Verwendung anbietet. Weltweit erfreut sich der Sport einer rasant ansteigenden Beliebtheit und erreicht im Vaterland, den U.S.A., Zuschauerzahlen, die mittlerweile mit dem American Football vergleichbar sind. Die Idee Gegner gegeneinander mit verschiedenen Techniken und möglichst wenigen limitierenden Regeln kämpfen zu lassen, um die effektivste Kampfkunst zu finden, geht bis in das Jahr 648 v.Ch., zu den griechischen Olympischen Spielen, zurück. Wie im modernen MMA war es den Kämpfern auch damals nicht erlaubt zu beißen oder in die Augen des Gegners zu stechen sowie Finger in Mund oder Nase zu stecken. Die bestehenden Regeln erlauben es, den Athleten auf den Kopf eines am Boden liegenden Kontrahenten zu schlagen, was Kritiker des MMA den Sport als gefährlich und barbarisch darstellen lässt (White u.a., 2016). Befürworter dieses Sports dagegen argumentieren, dass MMA weniger brutal als andere Kampfsportarten sei, in denen Schläge ausschließlich verwendet werden, die den Gegner vorwiegend am Kopf angreifen (Bledsoe u.a., 2006). Die im MMA zusätzlich verwendeten Techniken, die dazu genutzt werden den Gegner durch Halte- oder Würgegriffe zur Aufgabe zu zwingen, sind deutlich ungefährlicher und beenden mit ca. 50% ungefähr die Hälfte aller professionellen Wettkämpfe. Zusätzlich gibt es Hinweise darauf, dass MMA Wettkämpfe nicht mit einer außerordentlich hohen Verletzungsrate verbunden sind. Genauer gesagt, ist die Häufigkeit von Verletzungen mit anderen Vollkontaktkampfsportarten vergleichbar (Bledsoe u.a., 2006). Allerdings konzentrierten sich die Untersuchungen in der Regel auf "makroskopische"

Verletzungen, wie zum Beispiel (z.B.) orbitale Lazerationen oder Frakturen und größere Hämatome (McClain u.a., 2014). Im Gegensatz dazu gibt es nach dem besten Wissen der Autoren aktuell keine andere Studie, welche die durch MMA verursachte "mikroskopische" Schädigung des Muskelgewebes analysiert hat, insbesondere keine Studie, die ein verändertes Niveau der muscle damage marker (MDM) CK und Mb im Blut nachgewiesen hat (Behringer u.a., 2014).

1.2 Analyseverfahren zur Dokumentation von makro- und mikroskopischen Schäden

Als Analyseverfahren stehen zuallererst die aus dem klinischen Alltag bekannten Standardverfahren der körperlichen Untersuchung zur Verfügung, die sich in fast allen Bereichen als grundlegende Diagnostik durchgesetzt haben (Kern u.a., 2006). Vorangehend die Inspektion, welche durch Blickkontrolle äußerliche, makroskopische Verletzungen erkennt und bereits hierdurch erlaubt eine erste Einschätzung der Schwere des Traumas abzugeben. Gefolgt wird diese meist von der Palpation, in welcher durch haptisches Betasten grobe Einschätzungen von Verletzungen festgestellt werden können. Als weiteres Element findet sich die Perkussion, z.B. zur Erkennung der Lungengrenzen durch die unterschiedliche Schallresonanz beklopfter Körper. Als ebenso essentiell muss eine Funktionsprüfung durchgeführt werden. Unter Anderem kommen hier pathologische Einschränkungen der ROM (range of motion) sowie Dislokationen und Luxationen zu Tage. Abgerundet wird die körperliche Untersuchung durch die Auskultation, in welcher mit Hilfe des Stethoskops Fehlfunktionen oder Erkrankungen der Respiration und des Herz-Kreislauf-Systems ausgeschlossen werden (Kern u.a., 1998).

Als bildgebende Modalität steht allen voran die Sonographie zur Verfügung. Diese bietet als nicht invasive sowie kostengünstige und schnell durchführbare Diagnostik

sehr viele Vorteile. Allerdings sind die Ergebnisse sehr untersucherabhängig. Als eine weitere Limitation ist zu erwähnen, dass die Sonographie nicht zu den Standardverfahren des Rettungs- bzw. Notarztwesens gehört.

Eine radiologische Untersuchung mit Röntgenstrahlen wird meist erst im klinischen Setting zum Ausschluss knöcherner Verletzungen sowie Pneumothoraxes durchgeführt. Stattdessen kann ebenso, unter Umständen auch ergänzend, eine Computertomographie (CT) angeordnet werden. Eine Magnetresonanztomographie (MRT) findet eher im stationären sowie dem ambulanten Bereich statt, insbesondere um Schäden an Muskeln, Sehnen, Bändern und Weichteilen zu verifizieren.

Bis zum heutigen Zeitpunkt gibt es keine etablierten Biomarker, welche, zur Einschätzung des Schweregrades der muskulären Schädigung eines Profikämpfers im Rahmen eines Wettkampfes, zum Einsatz kommen.

Die Analyse und Quantifizierung der biochemischen Marker Kreatinkinase (CK) und Myoglobin (Mb) gehört nicht zu den Standardverfahren zur Einschätzung der stattgehabten Muskelschädigung, kann aber erste Hinweise hierfür liefern. Die Bedeutung dieser beiden Parameter wird im folgenden Absatz näher erläutert.

1.3 Klinische Bedeutung der Parameter CK und Mb

Es handelt sich hierbei um große, intrazelluläre Moleküle, die spezifisch für Muskelgewebe sind. Diese werden als Marker für Schäden an Muskelzellen verwendet, da ihr Vorkommen im Blut auf eine erhöhte Permeabilität des Sarkolemm hinweist.

Das Muskelenzym Kreatinkinase (CK) und das sauerstoffbindende Protein Myoglobin (Mb), gehören zu den am häufigsten verwendeten MDM in diesem Zusammenhang (Hoffman u.a., 2002; Brancaccio u.a., 2007; Brancaccio u.a., 2010). Im klinischen Alltag stellt insbesondere die CK einen häufig bestimmten Biomarker dar, der

reproduzierbar und verlässlich Muskelschäden am Skelettmuskel sowie am Herzmuskel nachweist (Tiidus u.a., 1983; Sutton u.a., 1954). Aus der Sportmedizin weiß man, dass aber auch CK und Mb bei exzentrischen Muskelkontraktionen im besonderen Maße ansteigen (Nusaka u.a., 1994; Sorichter u.a., 1999; Chapman u.a., 2006). Darüber hinaus ist auch bekannt, dass metabolischer Stress ebenfalls Muskelschäden induzieren kann und daher zu einer Steigerung der MDM im Blut beiträgt (Suzuki u.a. 1999; Peake u.a., 2004). MMA Wettkämpfe umfassen alle der oben aufgeführten Stressoren. Das Hauptziel der vorliegenden Studie war es daher, das Ausmaß der Muskelschädigung bei Profikämpfern auf biochemischer Ebene zu analysieren, indem die Veränderungen der CK und Mb im Blut gemessen wurden.

1.4 Sportlicher Hintergrund

In allen gewichtsabhängigen Kampfsportarten versuchen die Sportler, bis zum Tag vor dem Kampf, an dem das Wiegen stattfindet, durch Dehydratation kurzfristig in die niedrigere Gewichtsklasse eingewogen zu werden (Jetton u.a., 2013). Dies geschieht auf verschiedene Wege, z.B. durch Saunagänge, Laufsport, währenddessen der Athlet mit Frischhaltefolie umwickelt ist, heißen Salzbädern bis hin zur Applikation von Diuretika.

Nach dem Wiegen wird der Athlet wieder rehydriert und ist so bis zu 10 kg schwerer als beim Wiegen, was selbstverständlich einen immensen Vorteil beim Kampf bietet. Diese oft gesundheitsgefährdenden Methoden sind in letzter Zeit stark in das Licht der Öffentlichkeit geraten (Jetton u.a., 2013). Es wird zunehmend diskutiert, ob man nicht durch ein mehrfaches Wiegen diesen Methoden entgegenwirken kann. Kollaptische Zustände durch Exsikkose zeigt sich in regelmäßigen Abständen.

Bei derartigen Kampfsportarten bleibt immer zu befürchten, dass im Rahmen solcher extremen Maßnahmen ernsthafte und bleibende Schäden an den Nierenorganen auftreten können (Saengsirisuwan u.a., 1998).

Dennoch war es für uns interessant zu sehen, dass es trotz hoher CK und Mb Werte sowie einer vorangegangenen Dehydratation, nicht zu der gefürchteten Crush Niere kam.

Weitere Untersuchungen sollten zeigen, welche protektiven Mechanismen dafür verantwortlich sein können.

2. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein Erkenntnisgewinn über den Schweregrad und Ausmaß der mikroskopischen Muskelschädigungen des MMA Kämpfers vor, während und nach einem Kampf zu gewinnen sowie mögliche Prädiktoren für das Ausmaß der dokumentierten Muskelschäden zu identifizieren.

3. Publikation der Originalarbeit in einem Peer Review Journal

Evaluation of Muscle Damage Marker after Mixed Martial Arts Matches.

Wiechmann GJ, Saygili E, Zilkens C, Krauspe R, Behringer M.

Orthop Rev (Pavia). 2016 Mar 21;8(1):6209. doi: 10.4081/or.2016.6209

Evaluation of muscle damage marker after mixed martial arts matches

Gerald Julius Wiechmann,¹ Erol Saygılı,² Christoph Zilkens,¹ Rüdiger Krause,¹ Michael Behringer²

¹Department of Orthopedics, University Hospital Düsseldorf; ²Division of Cardiology, Pulmonology, and Vascular Medicine, Düsseldorf University Hospital; ³Institute of Training Science and Sport Informatics, German Sport University Cologne, Germany

Abstract

The aim of this paper is to identify predictors of serum muscle damage marker (MDM) response following mixed martial arts (MMA) matches. Creatine kinase activity (CK) and myoglobin concentration (Mb) were measured in ten male elite MMA fighters (aged 28±5.7 years) prior to, 2 h, 24 h, and 96 h following 9 different MMA matches. The number of performed upright punches and kicks (UPK) that failed the opponent, the number of obtained hits to the upper and lower body (LBH), as well as the total fight duration (TFD) were evaluated as potential predictors from video recordings. CK peaked 24 h (829±753 U/L⁻¹) and Mb peaked 2 h (210±122 µg/L⁻¹) post matches. Almost 80% of the peak CK variance could be explained by LBH and UPK, whereas 87% of the Mb variation was explained by TFD and LBH. MMA result in a significant skeletal muscle damage, which largely depends on LBH. Furthermore, eccentric contractions to decelerate kicks that missed the opponent and the TFD seem to contribute to the MDM response.

Introduction

Mixed Martial Arts (MMA) is a full contact combat sport that allows the athletes to use a broad range of fighting techniques from different martial arts like K1, kung fu, judo, wrestling and boxing. The idea to let unarmed opponents fight against each other using different techniques in order to find the most effective martial arts style, has its roots in the ancient Greece.¹ Like in the modern MMA, fighters were not allowed to bite or to gouge the opponent's eyes, mouth or nose.

Nevertheless, rules that allow athletes to punch the head of a downed opponent, let critics decry MMA as a dangerous barbaric blood sport which should be banned.² By contrast,

advocates argue that the mix of striking techniques with grappling is supposed to be less damaging. At least, there is evidence to suggest that MMA-contests are not associated with an extraordinary high injury rate. More concretely, the incidence of injuries is comparable with other full contact combat sports.^{3,4} However, these statistics usually focus on macroscopic injuries like orbital laceration, fractures and hematomas. By contrast, to the best knowledge of the authors, up to date no other study has analyzed the effect of MMA on microscopic damage of muscle tissue, measured as an altered level of muscle damage markers (MDM) in the blood.

Usually large intracellular molecules that are more or less specific for muscle tissue are used as damage markers. The muscle enzyme creatine kinase (CK) and the oxygen-binding protein myoglobin (Mb), rank among the most commonly used MDM in this context.^{5,6} Both markers have frequently been shown to increase following unaccustomed bouts of lengthening (eccentric) contractions^{7,8} and impact associated with collisions.^{9,10} However, more recent data indicate that metabolic stress may also induce muscle damage and would therefore contribute to the overall increase of MDMs in the blood.¹¹⁻¹³

MMA competitions include all of the above listed stressors. Therefore, the major goal of the present study was to evaluate not only the response of MDM in the blood following MMA matches but also to identify which of these stressors serve as valuable predictors of the MDM response.

Materials and Methods

Subjects

A total of 10 healthy volunteer male elite MMA fighters aged between 22-40 years participated in the present study. Anthropometric values of the athletes can be found in Table 1. All athletes had a training experience of at least 5 years and competed in more than 1 national and/or international MMA events. None of the participants had any indication of musculoskeletal disorders or abnormality of liver or renal function. Written informed consent was obtained from all subjects prior to the enrolment. This study was approved by the local ethics board of the Heinrich Heine University Düsseldorf (Germany) and has therefore been performed in accordance with the ethical standards laid down in the 1964 Declaration of Helsinki.

Experimental procedures

The present study included 9 national MMA matches (including 4 title matches) that were

Correspondence: Gerald Julius Wiechmann, Department of Orthopedics, Medical Faculty, University Hospital Düsseldorf, Moorenstraße 5, D-40225 Düsseldorf, Germany.
Tel.: +49.211.8117961 - Fax: +49.211.8104855.
E-mail: gerald.wiechmann@med.uni-duesseldorf.de

Key words: Combat sports; mixed martial arts; muscle damage; creatine kinase; myoglobin.

Contributions: the authors contributed equally.

Conflict of interest: the authors declare no potential conflict of interest.

Received for publication: 18 September 2015.
Accepted for publication: 20 October 2015.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

©Copyright G.J. Wiechmann et al., 2016

Licensee PAGEPress, Italy
Orthopedic Reviews 2016; 8:6209
doi:10.4081/or.2016.6209

organized between June 2013 and May 2014. Blood samples were drawn from the antecubital vein 20 min before (pre) and 2 h, 24 h, and 5 days post matches, after a resting period of 5 min. All blood samples were collected in 2 separate serum separator VacutainerTM (BD, Franklin Lakes, NJ, USA) tubes. For every point of measurement, a total of 10 mL (5 mL each) was sampled. All blood samples were processed and subsequently transported at -10°C to the laboratory of the University Hospital Düsseldorf, Germany, where they were analyzed immediately. Measurements for CK activity were performed using an automated analyzer, Cobas 8000, Modul 701 (Roche Diagnostics GmbH, Basel, Switzerland). Mb concentration was determined by Nephelometer (Siemens Healthcare Diagnostics GmbH, Erlangen, Germany). The athletes were asked to avoid any strenuous exercises from three days prior to the competition until the end of follow-up measurements (i.e. 5 days after competition).

Match analyses

To estimate the amount of damaging events that were experienced by the enrolled athletes during the MMA matches, video recordings were analyzed by two experienced, independent raters. Any disagreements between those two raters were resolved by a third rater. Potential predictors of MDM level in the blood were defined as follows: i) eccentric contractions: number of performed upright punches (UPF) and kicks (UKF) that failed the opponent so that the respective limb had to be

decelerated by the antagonistic musculature; ii) obtained attacks: number of obtained punches and kicks to the upper (UBH) and lower body (LBH); iii) duration of physical activity: total fight duration (TFD).

Statistics

Statistical differences between variables at different measurement time points were calculated by using repeated analyses of variance (ANOVA), while stepwise linear regression analyses were performed to estimate the impact of selected predictor variables (UPF, UKF, UBH, LBH, TFD) on the MDM response in the blood. The stepwise regression analysis was performed separately for the peak CK (24 h) and Mb (2 h) values. All statistical analyses were performed SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). For all analyses, $P < 0.05$ was considered to be statistically significant.

Results

From the included MMA fights all matches were finished without knock outs. No fighter experienced a major cut or a macroscopic injury. No match had to be finished by the referee due to forbidden punches.

Muscle damage markers

Compared to the pre-test level (236 ± 190 U/L⁻¹), CK slightly increased 2 h post match

(367 ± 254 U/L⁻¹), and significantly increased 24 h after the MMA competitions (829 ± 753 U/L⁻¹). At the last follow-up measurement (96 h) CK values returned to the baseline level (222 ± 135 U/L⁻¹). The mean Mb concentration already peaked 2 h after the fights (210 ± 122 µg/L⁻¹), which was significantly higher as the pre-test level (29 ± 5 µg/L⁻¹). Thereafter, Mb concentrations decreased (24 h: 92 ± 27) to show an

almost complete recovery 96 h after the fight (35 ± 11 µg/L⁻¹).

Stepwise regression analysis

The mean number of UPF, UKF, UBH, and LBH were 31.11 ± 43.26 , 2.00 ± 2.83 , 4.22 ± 6.04 , 1.78 ± 3.87 , respectively. The mean TFD of all fights was 5.88 ± 4.89 min. In the case of peak CK, it turned out that 80% of its variance could

Table 1. Anthropometric values of included athletes.

Parameter (range)	Mean $\pm$ SD
Age, years (22-40)	28 ± 5.7
Weight, kg (61-101)	78 ± 13.5
Height, cm (169-191)	181.5 ± 7.13
BMI, kg/m ² (17.8-27.7)	22.6 ± 3.0

SD, standard deviation; BMI, body mass index.

Table 2. Summary of the stepwise regression for the creatine kinase (CK) and the myoglobin (Mb) response.

Dependent variable	Variables in the model	B (SE)	Standardized β	P	R ² of the model
CK 24h (peak)	LBH	165.29 (38.29)	0.82	0.01	0.80
	UKF	160.50 (52.33)	0.58	0.02	
Mb 2h (peak)	TFD	0.34 (0.06)	0.78	0.001	0.86
	LBH	12.45 (5.00)	0.35	0.04	

SE, standard error; UPF, upright punches that failed the opponent; UKF, upright kicks that failed the opponent; UBH, number of obtained punches and kicks to the upper body; LBH, number of obtained punches and kicks to the lower body; TFD, total fight duration.

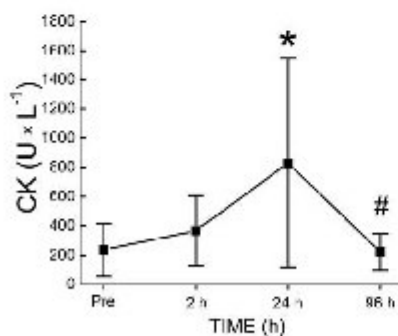


Figure 1. Creatine kinase (CK) activity was measured as described in the method section. CK activity increased slightly and reached its maximum at 24 h post match. After 5 days a complete recovery could be observed. * $P < 0.05$ vs. pre. # $P < 0.05$ vs. 24 h.

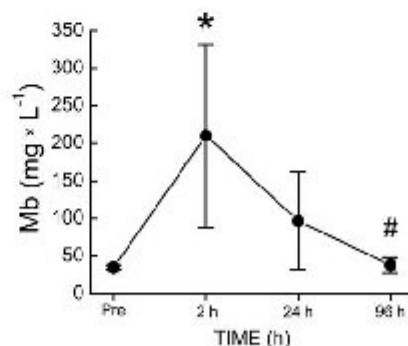


Figure 2. Myoglobin (Mb) concentration was measured as mentioned in the method section. The concentration of Mb increased after 2 h post match significantly, with peak values approximately 7 fold higher as compared to baseline values. A complete recovery could be observed 5 days after the matches. * $P < 0.05$ vs. pre. # $P < 0.05$ vs. 2 h.

be explained by the predictors LBH and UKF. By contrast, 87% of the peak Mb variance could be predicted by the variables TFD and LBH. The results are summarized in Table 2.

Discussion

The present results indicate that MMA matches are associated with severe muscle damage as evident by the significant increase of the indirect indicators of muscle damage CK and Mb (Figures 1 and 2). The earlier peak of Mb likely reflects the ability of these small molecules (17kDa) to directly enter the bloodstream from the extracellular space via the transendothelial pathway.²⁴ By contrast, CK molecules (86 kDa) are slowly transported by the lymphatic system before leaking into the junction of the left subclavian vein and left jugular vein.¹⁵ Both markers are commonly used to estimate the amount of muscle damage and to judge, if patients need to be hospitalized in order to prevent renal failure.¹⁶ The underlying mechanisms for this complication include a renal vasoconstriction, an intraluminal cast formation and the direct toxic effects of myoglobin.²⁵ Surprisingly, it has been stated that the risk for renal failures is low in the absence of nephrotoxic cofactors.¹⁶ Clarkson *et al.*¹⁶ reported that even marked exercise induced CK elevations of over 20,000 U/L⁻¹ did not require any treatment to prevent renal compromise. However, dehydration is known to be a key factor that increases the risk of renal injury by decreasing the Mb's solubility - and dehydration is common issue in MMA.¹⁴ Jellison *et al.*,²⁶ who investigated the hydration status of 40 male MMA fighters, reported that 39% of these individuals presented a serious dehydration prior to competition and some of them failed to sufficiently rehydrate before the match. From this perspective, weight management in MMA must urgently be revised.

Unfortunately comparative data on MDM after martial arts competitions are rare. The only other study found by the authors investigating MDM responses after a competition of martial arts that included boxing and kicking was that published by Saengsirisuwan *et al.*²⁸ These authors reported that 12 h after Thai boxing competitions, the CK activity increased to 378.5 ± 95 U/L⁻¹. However, due to the fact that CK usually continues to increase for several days after the damaging event,²⁹ the 12 h values of that study are not comparable to the present results. The comparability is further aggravated by the fact that the Thai boxers investigated by Saengsirisuwan *et al.*²⁸ largely differed in mean body mass (40.0 ± 2.1 kg) from the investigated athletes of the present study (78 ± 13.5 kg).

The peak CK value of 829 ± 753 U/L⁻¹, measured

24 h after the fights included in the present study is comparable to CK activities reported by Takarada [10] after competitive rugby matches (1081 ± 159 U/L⁻¹). Noteworthy, this author found the extent of muscle damage to be highly correlated with the number of tackles (CK vs. number of tackles: $r=0.85$, $P<0.01$; Mb vs. number of tackles: $r=0.92$, $P<0.01$). Similarly, McLellan *et al.*,²² who found that CK activity peaked 24 h after an elite rugby league play in forwards (979 ± 415 U/L⁻¹) and backs (922 ± 380 U/L⁻¹), reported that the number of heavy collisions (>8.1 G) during an elite rugby league match play was an important predictor of the observed CK response. These data and others indicate that blunt force trauma are capable to induce a significant CK release.^{32,34} This assumption is supported by the results of the present study as the number of obtained punches and kicks to the lower body (LBH) significantly contributed to the variance of peak CK and Mb levels in MMA fighters. Therefore, it can reasonably be assumed that MDM response after MMA matches can partially be attributed to the number of obtained blunt force trauma.

Apart from the blunt force trauma resulting from physical collisions, we found that upright kicks that failed the opponent (UKF), contributed to the variance of the observed CK response. It is well documented in the literature that eccentric contractions are associated with increased membrane permeability, resulting in an efflux of MDM in the bloodstream.²⁵ Furthermore, it has been demonstrated that fast velocity ($210^\circ/\text{s}^{-1}$) eccentric contractions result in a 4.5-fold higher CK response, when compared to slower ($30^\circ/\text{s}^{-1}$) eccentric contractions.²⁶ Therefore, the contribution of UKF to the observed variance of the CK response is likely a function of the eccentric contractions of the antagonists needed to rapidly decelerate the leg. The fact that the number of performed punches, which failed the opponent did not turn out as a significant predictor of the CK and Mb response may be a result of the lower mass that needs to be decelerated and the lower mass of muscles that contracts eccentrically. Finally, the performed stepwise regression revealed that the total fight duration (TFD) was correlated with the peak Mb response measured 2 h after the MMA matches. A possible explanation for this observation is that the metabolic stress contributed to the increased membrane permeability, which allowed the Mb molecules to leak into the extracellular space. Research does indeed show that not only high mechanical forces, but also metabolic stress aggravates the amount of muscle damage, indicative by MDM in the blood.²⁷ In this context, it was reported that shorter rest intervals between sets of eccentric contractions result in greater CK responses.^{28,29} Thus, despite the fact that shorter rest

intervals resulted in a lower amount of work performed by participants, the higher metabolic stress resulted in a greater MDM leakage. In an animal model, it could be shown that even exhaustive swimming protocols that virtually lack any meaningful mechanical stress result in pronounced CK elevations.³⁰ The reason why TFD partially predicted the variance of Mb but not the CK response remains unclear.

Study limitations

There are some limitations that need to be acknowledged and addressed regarding the present study. Firstly, the hydration status of the athletes was not assessed. Since the hydration status affects the blood volume, the activity and concentration measures of CK and Mb may be biased by concentration/dilution effects to an unknown extent. It has been reported previously that hypohydration is able to amplify the characteristic exercise induced MDM response in the blood.³¹ Additionally, our study was only observational, based on indirect markers of muscle damage. Therefore, the discussion on the underlying mechanisms that resulted in the MDM release had to be speculative in nature. Finally, we were not able to measure the severity of the physical collisions, which likely would have improved the accuracy of the obtained regression models.

Conclusions

The variety of injury patterns associated with MMA has been thoroughly reviewed by Walrod *et al.* in 2011.³² However, to the best knowledge of the authors up to date no other study investigated blood indices of muscle damage after competitive MMA matches. The present data demonstrate that MMA matches result in pronounced increase of CK and Mb in the blood. Further, it turned out that the number of obtained hits to the lower body, the number of eccentric contractions to decelerate the respective leg after kicks that missed the opponent, and the duration of the fights contributed to the observed MDM response.

References

- McClain R, Wasserman J, Mayfield C, et al. Injury profile of mixed martial arts competitors. *Clin J Sport Med* 2014;24:497-501.
- White C. Mixed martial arts and boxing should be banned, says BMA. *BMJ* 2007;335:469.
- Bledsoe GH, Hsu EB, Grabowski JG, et al. Incidence of injury in professional mixed martial arts competitions. *J Sports Sci Med* 2006;5:136-42.

- 4 Paul GL, DeLany JP, Snook JT, et al. Serum and urinary markers of skeletal muscle tissue damage after weight lifting exercise. *Eur J of Appl Physiol Occup Physiol* 1989;58:786-90.
- 5 Tiidus PM, Iannuzzo CD. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15:461-5.
- 6 Noakes TD. Effect of exercise on serum enzyme activities in humans. *Sports Med* 1987;4:245-67.
- 7 Nosaka K, Clarkson PM. Effect of eccentric exercise on plasma enzyme activities previously elevated by eccentric exercise. *Eur J of Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:492-7.
- 8 Soricichter S, Puschendorf B, Mair J. Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury. *Exerc Immunol Rev* 1999;5:5-21.
- 9 McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Biochemical and endocrine responses to impact and collision during elite Rugby League match play. *J Strength Cond Res* 2011;25:1553-62.
- 10 Takarada Y. Evaluation of muscle damage after a rugby match with special reference to tackle plays. *Br J Sports Med* 2003;37:416-9.
- 11 Suzuki K, Totsuka M, Nakaji S, et al. Endurance exercise causes interaction among stress hormones, cytokines, neutrophil dynamics, and muscle damage. *J Appl Physiol* 1999;87:1360-7.
- 12 Peake J, Suzuki K. Neutrophil activation, antioxidant supplements and exercise-induced oxidative stress. *Exerc Immunol Rev* 2004;10:129-41.
- 13 Behringer M, Montag J, Franz A, et al. Exhaustive exercise: a near death experience for skeletal muscle cells? *Med Hypotheses* 2014;83:758-65.
- 14 van de Vyver M, Myburgh KH. Cytokine and satellite cell responses to muscle damage: interpretation and possible confounding factors in human studies. *J Muscle Res Cel Motil* 2012;33:177-85.
- 15 Lindena J, Kupper W, Trautschold I. Enzyme activities in thoracic duct lymph and plasma of anaesthetized, conscious resting and exercising dogs. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984;52:188-95.
- 16 Clarkson PM, Kearns AK, Rouzier P, et al. Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:623-7.
- 17 Daher Ede F, Silva Júnior GB, Brunetta DM, et al. Rhabdomyolysis and acute renal failure after strenuous exercise and alcohol abuse: case report and literature review. *São Paulo Med J* 2005;123:33-7.
- 18 Sinert R, Kohl L, Rainone T, et al. Exercise-induced rhabdomyolysis. *Ann Emerg Med* 1994;23:1301-6.
- 19 Jetton AM, Lawrence MM, Meucci M, et al. Dehydration and acute weight gain in mixed martial arts fighters before competition. *J Strength Cond Res* 2013;27:1322-6.
- 20 Saengsirisuwan V, Phadungkij S, Pholpramool C. Renal and liver functions and muscle injuries during training and after competition in Thai boxers. *Br J Sports Med* 1998;32:304-8.
- 21 Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin* 2007;81:209-30.
- 22 McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play. *J Strength Cond Res* 2010;24:2908-19.
- 23 Smart DJ, Gill ND, Beaven CM. The relationship between changes in interstitial creatine kinase and game-related impacts in rugby union. *Br J Sports Med* 2008;42:198-201.
- 24 Hoffman JR, Maresch CM, Newton RU. Performance, biochemical, and endocrine changes during a competitive football game. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1845-53.
- 25 Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clinical Chem and Lab Medicine* 2010;48:757-67.
- 26 Chapman D, Newton M, Sacco P. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med* 2006;27:591-98.
- 27 Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musc Neur Interact* 2014;14:68-77.
- 28 Machado M, Willardson JM. Short recovery augments magnitude of muscle damage in high responders. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1370-4.
- 29 Rodrigues BM, Dantas E, Salles BF. Creatine kinase and lactate dehydrogenase responses after upper-body resistance exercise with different rest intervals. *J Strength Cond Res* 2010;24:1657-62.
- 30 Chen Y, Serfass RC, Apple FS. Alterations in the expression and activity of creatine kinase-M and mitochondrial creatine kinase subunits in skeletal muscle following prolonged intense exercise in rats. *Eur J Appl Physiol* 2000;81:114-9.
- 31 Fielding RA, Violan MA, Svetkey L, et al. Effects of prior exercise on eccentric exercise-induced neutrophilia and enzyme release. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:359-64.
- 32 Walrod B. Current review of injuries sustained in mixed martial arts competition. *Curr Sports Med Rep* 2011;10:288-9.

4. Diskussion

Ungefähr 2 Dekaden sind bereits vergangen seit dem MMA in den U.S.A. auf hohem professionellem Niveau im breiten Licht der Öffentlichkeit durchgeführt wird.

Die Akzeptanz des Sportes wächst seit dieser Zeit stetig und MMA hat bereits dem Boxen, dem zuvor populärsten Kampfsport in den U.S.A., den Rang abgelaufen.

Gegner des MMA hingegen beschreiben den Sport als brutal, barbarisch und ohne klare Regeln, dies würde anscheinend dazu führen, dass es zu einem erhöhten Risiko für Verletzungen, im Vergleich zu anderen Vollkontaktsportarten, kommen soll (White u.a., 2007).

Befürworter dagegen argumentieren, dass die Datenlage eindeutig zeigt, dass das Risiko sich zu verletzen allenfalls mit anderen Vollkontaktsportarten, insbesondere dem Boxen, vergleichbar ist. In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Studien durchgeführt um die makroskopischen Verletzungsmuster zu untersuchen. Die verschiedenen Verletzungsmuster wurden bereits 2011 von Walrod et al. umfassend dargestellt.

Nach Kenntnis der Autoren existieren noch keine Daten, die den Grad der Muskelschädigung auf biochemischer Ebene zeigen.

Andererseits gibt es wenig Daten, die den Muskelschaden bei anderen Vollkontaktsportarten untersucht haben, dennoch zeigt sich auch beim Boxen, Thai Boxen und Judo ein Anstieg von Kreatinkinase (CK) und Myoglobin (Mb) (Bledsoe u.a., 2006; Paul u.a., 1989; Tiidus u.a., 1983; Noakes u.a., 1987).

Gleichwohl wurde auch die vorliegende Studie nicht darauf ausgelegt, MMA mit anderen Vollkontaktsportarten zu vergleichen, sondern eine belastbare Aussage über den Grad der mikroskopischen Verletzungen der Muskelzellen, unter Verwendung der etablierten Marker CK und Mb, zu formulieren.

Die vorliegenden Daten zeigen, dass bereits bei der Baseline von CK interindividuelle Unterschiede bestehen (Pre values: 79 – 639 U/L).

In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass sich die Ausgangswerte der CK unabhängig von Alter, Größe oder Gewicht der Athleten unterschieden.

Die Autoren vermuten den Grund hierfür in dem interindividuell unterschiedlichen Trainingszustand der Athleten sowie im unterschiedlich langen Zeitintervall zwischen dem letzten Training und der Blutentnahme, wobei eine Sportkarenz von 96h vorgegeben wurde. Außerdem scheinen auch der Hydratations- bzw. Dehydratationsstatus den Unterschieden Rechenschaft zu schulden, da die Kämpfer vor einem Kampf unterschiedlich viel Gewicht abnehmen müssen, um das geforderte Kampfgewicht am Tag der Waage zu erreichen. Auch die Halbwertszeit der CK ist hier als eine wesentliche Einflussgröße zu diskutieren.

Da diese Besonderheiten zu Schwierigkeiten bei der Interpretation des Muskelschadens führen können, wurde in der vorliegenden Studie genau auf die Einhaltung der vorgegebenen Abnahmezeitpunkte geachtet. Hierfür wurde ein standardisierter Zeitplan für die Untersuchungen erarbeitet und eingesetzt.

5. Schlussfolgerung

Schlussfolgernd lässt sich anhand der vorliegenden Daten zusammenfassen, dass MMA als eine Vollkontaktkampfsportart nachweislich mit muskulären Schäden einhergeht, welche auf biochemischer Ebene messbar sind. Die dokumentierten CK und Mb Wert Erhöhungen sind letztendlich nur ein Ausdruck eines temporären mikroskopischen Schadens und damit nicht von anhaltender oder aggravierender Natur.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

1. McClain R, Wassermen J, Mayfield C, et al. Injury profile of mixed martial arts competitors. Clin J Sport Med 2014;24:497-501.
2. White C. Mixed martial arts and boxing should be banned, says BMA. BMJ 2007;335 :469.
3. Bledsoe GH, Hsu EB, Grabowski JG, et al. Incidence of injury in professional mixed martial arts competitions. J Sports Sci Med 2006;5:136-42.
4. Tiidus PM, Ianuzzo CD. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. Med Sci Sports Exerc 1983;15:461-
5. Noakes TD. Effect of exercise on serum enzyme activities in humans. Sports Med 1987;4:245-67.
6. Nusaka K, Clarkson PM. Effect of eccentric exercise on plasma enzyme activities previously elevated by eccentric exercise. Eur J of Appl Physiol Occup Physiol 1994;69:492-7.
7. Sorichter S, Puschendorf B, Mair J. Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury. Exerc Immunol Rev 1999;5:5-21.
8. Suzuki K, Totsuka M, Nakaji S, et al. Endurance exercise causes interaction among stress hormones, cytokines, neutrophil dynamics, and muscle damage. J Appl Physiol 1999;87:1360-7.
9. Peake J, Suzuki K. Neutrophil activation, antioxidant supplements and exercise induced oxidative stress. Exerc Immunol Rev 2004;10:129-41.
10. Behringer M, Montag J, Franz A, et al. Exhaustive exercise: a near death experience for skeletal muscle cells? Med Hypotheses 2014;83:758-65.

11. Jetton AM, Lawrence MM, Meucci M, et al. Dehydration and acute weight gain in mixed martial arts fighters before competition. *J Strength Con Res* 2013;27:1322-
12. Saengsirisuwan V, Phadungkij S, Pholpramool C. Renal and liver functions and muscle injuries during training and after competition in Thai boxers. *Br J Sports Med* 1998;32:304-8.
13. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin* 2007;81:209- 30.
14. Hoffman JR, Maresh CM, Newton RU. Performance, biochemical, and endocrine changes during a competitive football game. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1845- 53.
15. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clinical Chem and Lab Medicine* 2010;48:757-67.
16. Chapman D, Newton M, Sacco P. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med* 2006;27:591-98.
17. Walrod B. Current review of injuries sustained in mixed martial arts competition. *Curr Sports Med Rep* 2011;10:288-9.
18. Sutton DC, Sutton GC, Hinkens GF, Buckingham WB, Rondinelli R. Studies on whole blood and muscle creatine levels; effect of systemic and local anoxia, of cardiac failure and compensation, and of alpha-tocopherol administration. *Am Heart J.* 1954 Jan;47(1):67-76.
19. Kern DE. Curriculum Development for Medical Education: A Sixstep Approach. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 1998.
20. Wiechmann GJ, Saygili E, Zilkens C, Krauspe R, Behringer M. Evaluation of Muscle Damage Marker after Mixed Martial Arts Matches. *Orthop Rev (Pavia)*. 2016 Mar 21;8(1):6209. doi: 10.4081/or.2016.6209

7. Anhang

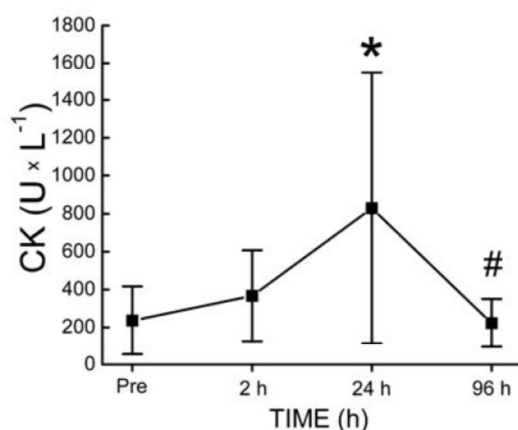


Figure 1. Creatine kinase (CK) activity was measured as described in the method section. CK activity increased slightly and reached its maximum at 24 h post match. After 5 days a complete recovery could be observed. * $P < 0.05$ vs. pre. # $P < 0.05$ vs. 24 h.

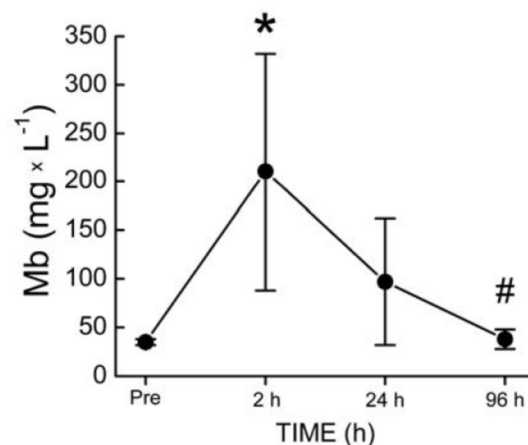


Figure 2. Myoglobin (Mb) concentration was measured as mentioned in the method section. The concentration of Mb increased after 2 h post match significantly, with peak values approximately 7 fold higher as compared to baseline values. A complete recovery could be observed 5 days after the matches. * $P < 0.05$ vs. pre. # $P < 0.05$ vs. 2 h.

Table 1. Anthropometric values of included athletes.

Parameter (range)	Mean $\pm$ SD
Age, years (22-40)	28 $\pm$ 5.7
Weight, kg (61-101)	78 $\pm$ 13.5
Height, cm (169-191)	181.5 $\pm$ 7.13
BMI, kg/m ² (17.8-27.7)	22.6 $\pm$ 3.0

SD, standard deviation; BMI, body mass index.

Table 2. Summary of the stepwise regression for the creatine kinase (CK) and the myoglobin (Mb) response.

Dependent variable	Variables in the model	B (SE)	Standardized β	P	R ² of the model
CK 24h (peak)	LBH	165.29 (38.29)	0.82	0.01	0.80
	UKF	160.50 (52.33)	0.58	0.02	
Mb 2h (peak)	TFD	0.34 (0.06)	0.78	0.001	0.86
	LBH	12.45 (5.00)	0.35	0.04	

SE, standard error; UPF, upright punches that failed the opponent; UKF, upright kicks that failed the opponent; UBH, number of obtained punches and kicks to the upper body; LBH, number of obtained punches and kicks to the lower body; TFD, total fight duration.

8. Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Christoph Zilkens für seine wissenschaftliche und methodische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation. Außerdem gilt mein Dank den Kollegen Herrn PD Dr. Erol Saygili und Jun.-Prof. Dr. Dr. Michael Behringer, die mich bei der Bearbeitung stets durch zielführende Diskussionen und anhaltende Hilfestellungen begleitet und unterstützt haben. Professor Dr. Rüdiger Krauspe danke ich für die zahlreichen und unermüdlichen, fachlichen Gespräche, Ratschläge und Anmerkungen, die mich auf dem Weg zur fertigen Arbeit immer wieder neue Aspekte und Ansätze entdecken ließen. Auch die vielen nicht wissenschaftlichen und motivierenden Gespräche haben meine Arbeit unterstützt. Allen Athleten, Sportlern und Veranstaltern sowie allen Beteiligten meiner Studie bin ich sehr dankbar für die gute und zahlreiche Unterstützung sowie die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit. Insbesondere möchte ich Respekt und Anerkennung für meine Mutter Christa Wiechmann zum Ausdruck bringen, die es als alleinerziehende Mutter, trotz allen Hürden und Entbehrungen, geschafft hat, mein gesamtes Medizinstudium zu ermöglichen.

Auch möchte ich mich in besonderer Weise bei meiner Frau Jeannine für die Liebe, unermüdliche Stärkung, Motivierung und Unterstützung der letzten 14 Jahre bedanken.