

Bio-Koffein-Riegel vor dem Zeitfahren verbessern die Leistung und senken das Beanspruchungsempfinden

Kuno Hottenrott^{1,3}, Sebastian Ludyga³, Thomas Gronwald^{1,3}, Stefanie Geissler², Stephan Schulze³

¹ Department Sportwissenschaft, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

² Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

³ Institut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Zusammenfassung

Die Effekte der Koffeinaufnahme über Kaffee, Koffeintabletten oder Energy-Drinks auf die Ausdauerleistungsfähigkeit wurden umfassend untersucht. Keine Studien liegen zur kombinierten Aufnahme von Koffein mit speziellen Energieriegeln vor. Dementsprechend war es das Ziel, die Wirkung von Koffeinriegeln auf die Leistungsfähigkeit, den Muskelstoffwechsel und das subjektive Beanspruchungsempfinden (RPE) zu überprüfen.

Dazu führten 9 trainierte Radsportler eine definierte Ausdauerbelastung unter verschiedenen Testbedingungen durch: Aufnahme von Wasser (H₂O), Placeboriegel (PLA) und Koffeinriegel (KOF; 5 mg Koffein/kg Körpergewicht) 45 min vor dem Test. Nach einer 40-minütigen Dauerbelastung bei 75% der VO₂max, die im Vorfeld in einem Stufentest mit Spirometrie erfasst wurde, erfolgte eine Steigerung des Widerstands um 10 W/min bis zur subjektiven Ausbelastung.

Unter der Gabe von KOF erreichten die Probanden eine signifikant höhere Maximalleistung und eine längere Fahrzeit ($p=0,002$) im Vergleich zu H₂O oder PLA. Zum Zeitpunkt der Ausbelastung fiel die Plasmakonzentration freier Fettsäuren nach KOF im Vergleich zu den beiden anderen Konditionen niedriger aus ($p=0,004$), während verglichen mit PLA eine höhere Herzfrequenz ($p=0,008$) und Laktatkonzentration ($p=0,021$) belegt werden konnte. Weiterhin gaben die Probanden bei KOF-Gabe einen niedrigeren RPE-Wert nach der Erwärmung ($p=0,034$), nach 30 ($p=0,026$) und 40 min ($p=0,041$) Belastungszeit an.

Die Aufnahme von Koffein über kohlenhydrathaltige Riegel ist eine wirkungsvolle Alternative zu anderen Darreichungsformen, um die Leistungsfähigkeit zu steigern. Die Wirkung beruht dabei nicht auf einer erhöhten Fettstoffwechselaktivität, sondern eher auf einer verzögerten Wahrnehmung der Ermüdung und der stärkeren Mobilisierung des Kohlenhydratstoffwechsels.

Keywords: Koffein, Koffeinriegel, Supplemente, Sporternährung, Ausdauerleistungsfähigkeit

Abstract

The intake of caffeine from tablets, coffee and energy drinks has shown to benefit endurance performance, whereas the effect of caffeine bars has not been investigated yet. Therefore, the aim of the study was to examine endurance performance, metabolism and perceived exertion following the co-ingestion of caffeine and carbohydrates in the form of bars.

Using a randomized single-blind cross-over placebo-controlled design, nine male, trained cyclists completed endurance exercises on a cycling ergometer under the following conditions: ingestion of water (H₂O), placebo bars (PLA) and caffeine bars (CAF; 5 mg caffeine/kg bodyweight), respectively, 45 min prior to the test. After 40 min at a constant intensity of 75% VO₂max, which was assessed in a previously performed incremental test with spirometry, load was increased 10 W/min until exhaustion.

In comparison to PLA and H₂O, the intake of CAF resulted in a higher maximal power and longer time to exhaustion ($p=0.002$). Surprisingly, concentration of free fatty acids was lower at exhaustion ($p=0.004$), whereas blood lactate levels ($p=0.021$) and heart rate ($p=0.008$) were significantly higher after CAF. Furthermore, subjects reported lower perceived perception of effort at warm-up (0.034), 30 min ($p=0.026$) and 40 min ($p=0.041$) only when they ingested CAF previously. Caffeine bars have been proven as useful pre-exercise supplements, which induce temporary performance benefits. The underlying mechanism was a delayed perception of fatigue rather than an increased lipolysis.

Keywords: caffeine, caffeine bars, exercise supplements, cycling performance, sports nutrition

Einleitung

Die sportliche Leistungsfähigkeit kann über die Ernährung gezielt beeinflusst werden. Diesbezüglich konnten verschiedene Autoren insbesondere nach einer Koffeinaufnahme (3–6 mg/kg bzw. 450 mg) temporäre Steigerungen der Ausdauerleistungsfähigkeit beobachten [3,4,11,13,16]. Bisher wird davon ausgegangen, dass dieser Effekt des Koffeins auf einer gesteigerten Lipolyse und Oxidation freier Fettsäuren beruht [26]. Der dafür verantwortliche Mechanismus ist die Ausschüttung von Katecholaminen, die in einer Aktivierung der Adenylatzyklase und der Erhöhung des cAMP-Spiegels resultiert [10,34]. Im Weiteren wird die hormonsensitive Lipase aktiviert, wodurch die Plasmakonzentration an freien Fettsäuren steigt [1]. Diese werden bevorzugt zur oxidativen Energiebereitstellung herangezogen, sodass die Glykolyse gehemmt wird [15,17]. Des Weiteren inhibiert Koffein auch die Adenosinrezeptoren kompetitiv und übt einen antagonistischen Effekt gegenüber dem endogenen Adenosin aus [27], sodass die daraus resultierende Steigerung der Ausschüttung von Neurotransmittern zu einer Stimulation des Zentralnervensystems führt [19,25].

Um die Vorteile des Koffeins optimal zu nutzen, muss abgesehen von der Dosis [12,14] und dem Aufnahmezeitpunkt [23,24] die Darreichungsform berücksichtigt werden. Diesbezüglich konnten Graham et al. [13,15] zeigen, dass die Aufnahme von Koffein über Kaffee durch die darin enthaltenen Verbindungen eine mögliche Leistungssteigerung hemmt. Alternativ wurden die Effekte der Koffeinaufnahme über Tabletten [15], Energy Drinks [17,21] und Elektrolytlösungen [11,20] auf die Ausdauerleistungsfähigkeit überprüft. Im Gegensatz dazu liegen keine hinreichenden Erkenntnisse zur Wirkung der Koffeinaufnahme über kohlehydrathaltige Riegel vor. Allerdings ist aus vorherigen Studien bereits bekannt, dass eine gleichzeitige Aufnahme von Koffein und Kohlenhydraten die Verfügbarkeit von Glykogen für die Energiebereitstellung steigert [33].

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Effekte der Koffeinaufnahme über kohlehydrathaltige Riegel auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, die Energiebereitstellung und das subjektive Beanspruchungsempfinden in einer Dauerbelastung zu untersuchen.

Methodik

Probanden

An der Studie nahmen 9 ausdauertrainierte männliche Radfahrer mit einem wöchentlichen Trainingsumfang von 5–10 h teil (Alter: $26,6 \pm 4,6$ Jahre; Körperhöhe: $180,4 \pm 6,3$ cm; Körpergewicht: $77,2 \pm 9,8$ kg; Körperfett: $11,0 \pm 3,0\%$). Es wurden nur gesunde Probanden mit einem geringen Koffeinkonsum (max. 3 Tassen/d bzw. 250 mg/d) in den letzten 10 Wochen vor der Studie eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren jegliche Beeinträchtigungen, welche die Leistungsfähigkeit beeinflusst hätten. Diese wurden anhand eines Screenings entsprechend der S1-Leitlinie [5] überprüft. Alle Probanden wurden über mögliche Risiken und den Ablauf der Studie aufgeklärt und gaben das schriftliche Einverständnis zur freiwilligen Teilnahme. Die Studie wurde durch die Ethik-Kommission genehmigt.

Tests der individuellen Leistungsfähigkeit

Vor der Studiendurchführung wurde auf einem Fahrradergometer (FES, E2000s, Deutschland) ein Stufentest (Inkrement: 30 W/3 min) mit Spirometrie (Cortex, Metamaxx 3b, Deutschland) bis zur subjektiven Erschöpfung durchgeführt. Respiratorische Messparameter und Herzfrequenz wurden kontinuierlich registriert. Nach jeder Stufe wurde zudem die Blutlaktatkonzentration aus arterialisiertem Ohrläppchenblut (10 μ L) mit der enzymatisch-amprometrischen Messmethode analysiert (Dr. Mueller, Super GL ambulance, Deutschland). Die Daten wurden mit WinLactat 3.1 (Mesics GmbH, Germany) ausgewertet und die anaerobe Schwelle nach Dickhuth et al. [6] ermittelt. Die maximale Sauerstoffaufnahme wurde als Referenz für die Belastungsvorgabe der nachfolgenden Tests verwendet.

Studiendesign

Die experimentelle Interventionsstudie im einfach-blinden Cross-Over-Design beinhaltete einen Ausdauerstest auf einem Fahrradergometer unter drei verschiedenen Bedingungen: Aufnahme von Wasser (H_2O), Placebo-Riegel (PLA; Kohlenhydrate: 18,5 g; Eiweiss: 5,4 g; Fett: 13,5 g; Fasern: 2,8 g) oder Bio-Koffein-Riegel (KOF; Kohlenhydrate: 22 g; Eiweiss: 3,2 g; Fett: 8 g; Fasern: 1,1 g; Koffein: 0,1 g) 45 min vor dem Test. Die Untersuchungen wurden an 3 Testtagen im Abstand von je einer Woche durchgeführt. Nach der Erfassung des Körpergewichts (Tanita, Modell TBF-521, USA) nahmen die Probanden relativ zum eigenen Körpergewicht entweder Koffein- (5 mg/kg Körpergewicht) oder Placebo-Riegel (gleiche Menge an Riegeln) mit 200 ml Wasser/Riegel oder die gleiche Menge an Wasser zu sich. Der darauf folgende Ausdauerstest (Abb. 1) bestand aus einer 10-minütigen Erwärmung (50% VO_{2max}), gefolgt von einer 40-minütigen Dauerbelastung (75% VO_{2max}), bei der anschliessend eine Steigerung der Intensität um 10 W/min bis zur subjektiven Ausbelastung erfolgte. Dabei wurden respiratorische Parameter sowie die Herzfrequenz kontinuierlich aufgezeichnet. Die Blutlaktat- und Glukosekonzentration wurden im Ruhezustand (unmittelbar vor und 3 min nach der Belastung) sowie zu definierten Messzeitpunkten (10, 20, 30, 40 min) erfasst. Dabei wurde auch das subjektive Beanspruchungsempfinden (RPE) nach Borg [2] abgefragt. Zusätzlich erfolgte eine Erhebung der Plasmakonzentration freier Fettsäuren aus 150 μ l Blut vom hyperämisierten Ohrläppchen (unmittelbar vor, nach 40 min Dauerbelastung und 3 min nach

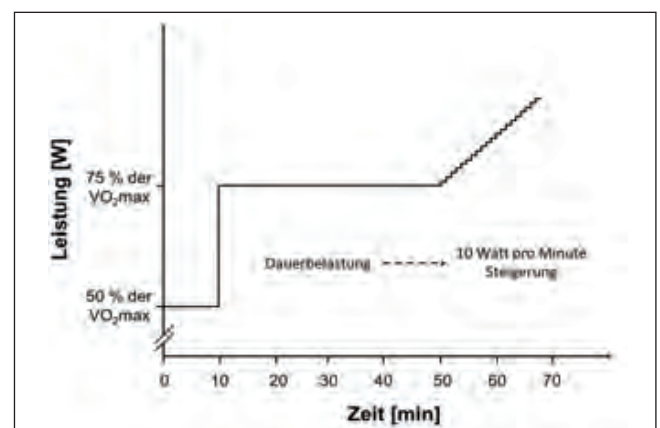


Abbildung 1: Design für die Testbelastung auf dem Radergometer

der Belastung). Alle Belastungstests wurden bei einer Raumtemperatur von 20 °C zur gleichen Tageszeit in derselben Sitzposition durchgeführt. Während der gesamten Studienlaufzeit sollten die Probanden auf eine unplanmäßige Koffeinaufnahme verzichten. Ein 12-Stunden-Ernährungsprotokoll wurde vor dem ersten Test ausgefüllt. In Vorbereitung auf alle weiteren Tests sollten sich die Probanden an den protokollierten Ernährungsplan halten. Während der Studie sollten die Probanden von intensiven Belastungen und Wettkämpfen absehen.

Statistik

Die statistische Analyse erfolgte mit SPSS Statistics 19.0 (IBM, USA). Die Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung überprüft. Zum deskriptiven Vergleich erfolgte eine Berechnung der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD). Waren die Variablen normalverteilt und metrisch, wurden studentische t-Tests für abhängige Stichproben angewandt. Beim Vorliegen von nicht normalverteilten oder ordinalskalierten Variablen erfolgte die statistische Prüfung mit nichtparametrischen Tests. Um die Signifikanz der Veränderungen innerhalb einer Gruppe zu untersuchen, wurde als t-Test für gepaarte Stichproben der Wilcoxon-Test angewendet. Als Signifikanzniveau wurde $p \leq 0,05$ (*) festgelegt.

Ergebnisse

Im Radergometerstufentest erreichten die Probanden eine maximale Sauerstoffaufnahme von $58,0 \pm 5,6$ ml/min/kg und eine maximale Leistung von $400,3 \pm 20,0$ W. Die dabei erfasste maximale Herzfrequenz betrug $182,4 \pm 6,5$ 1/min, der RQ $1,14 \pm 0,05$ und zum Zeitpunkt der Ausbelastung wurde eine Laktatkonzentration von $10,02 \pm 0,79$ mmol/l erfasst. Die für den Ausdauerstest ermittelte Leistungsvorgabe bei 75% VO_2max lag im Mittel bei $246,7 \pm 27,4$ W.

Leistung und Fahrzeit im Dauertest

Beim Ausdauerstest führte KOF zu einer signifikant höheren maximalen Leistung (H_2O vs. KOF: $p=0,002$; PLA vs. KOF:

$p=0,002$) und längeren Zeit bis zum Abbruch der Belastung (H_2O vs. KOF: $p=0,001$; PLA vs. KOF: $p=0,002$) im Vergleich zu den anderen Testbedingungen (Abb. 2).

Atmungsparameter

Der Verlauf der respiratorischen Parameter während der Belastung ist in Tabelle 1 dargestellt. Statistisch signifikante Unterschiede bei der VO_2max wurden im Vergleich der Bedingungen H_2O und PLA während der Erwärmungsphase ($p=0,035$) sowie nach 10 Minuten Belastung ($p=0,037$) beobachtet. Die Aufnahme von KOF resultierte in einer Zunahme des Ruhe-RQ (H_2O vs. KOF: $p=0,007$; PLA vs. KOF: $p=0,015$). Während der Belastung zeigten sich keine Unterschiede im RQ zwischen den unterschiedlichen Testbedingungen. Lediglich während der Ausbelastungsmessung war der RQ nach KOF im Vergleich zu H_2O erhöht ($p=0,002$).

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz war nach KOF im Vergleich zu H_2O nach 10 ($p=0,05$) und 20 min ($p=0,037$) Belastung höher (Tab. 2). Im Vergleich der Bedingungen H_2O , PLA und KOF zeigte sich eine erhöhte Herzfrequenz bei der Ausbelastung ($p=0,008$). Dieser Unterschied konnte ebenso 3 min nach der Belastung im Vergleich von H_2O und KOF ($p=0,017$) festgestellt werden.

Subjektives Beanspruchungsempfinden

Während der Erwärmung waren die RPE-Werte mit KOF geringer als mit PLA ($p=0,034$). Nach 30 min (H_2O vs. KOF: $p=0,037$; PLA vs. KOF: $p=0,026$) und 40 min (H_2O vs. KOF: $p=0,01$; PLA vs. KOF: $p=0,041$) Belastung wurden niedrigere RPE-Werte nach KOF angegeben (Tab. 2).

Energiestoffwechselfparameter

Die Einnahme der Riegel führte im Vergleich zu H_2O zu höheren Laktatwerten (H_2O vs. PLA: $p=0,011$; H_2O vs. KOF: $p=0,012$) in Ruhe (Tab. 3). Unterschiede konnten ebenfalls

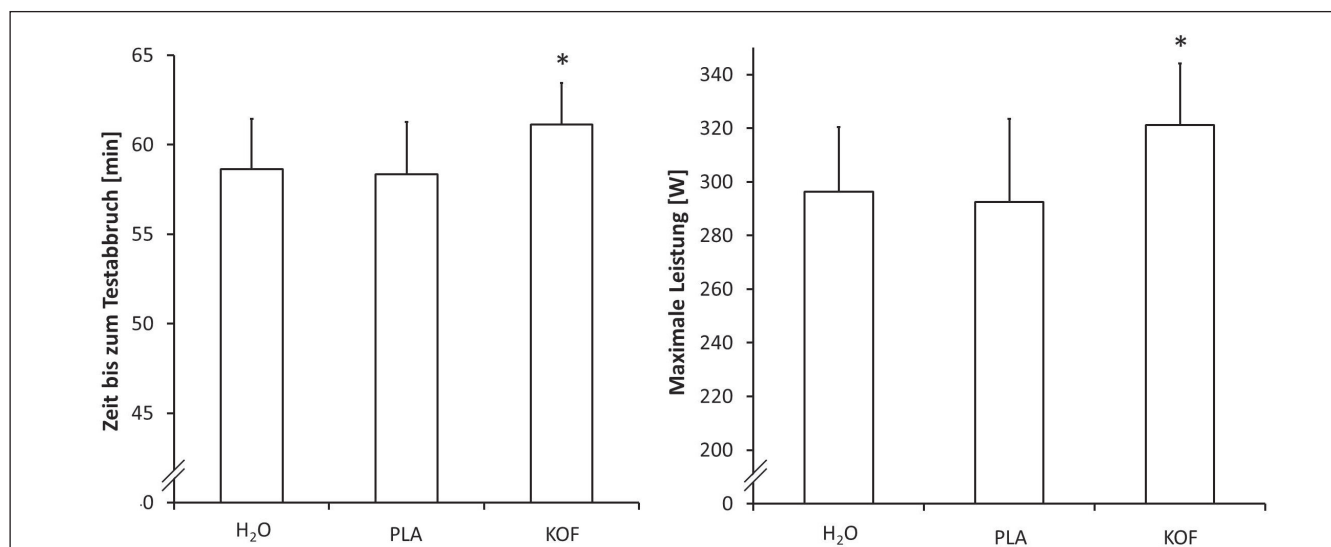


Abbildung 2: Zeit bis zum Abbruch der Ausdauerstestbelastung und maximale Ergometerleistung nach Einnahme von Wasser (H_2O), Placebo- (PLA) oder Koffein-Riegeln (KOF). * $p \leq 0,05$ im Vergleich zu H_2O und KOF

Tabelle 1: Atmungsparameter (MW \pm SD) unter den verschiedenen Bedingungen unmittelbar vor (Ruhe), während und in der 3. Erholungsminute nach Testabbruch (E3)

		Ruhe	Warm-Up	10 min	20 min	30 min	40 min	Abbruch	E3
VO ₂ max ¹ [ml/min/kg]	H ₂ O	6,4 \pm 2,0	26,0 \pm 3,5	43,5 \pm 4,1	44,8 \pm 3,9	44,6 \pm 4,1	45,2 \pm 4,8	50,4 \pm 6,8	23,4 \pm 6,1
	PLA	7,4 \pm 2,0	27,3 \pm 2,9 [#]	45,1 \pm 3,2 [#]	44,5 \pm 3,0	46,0 \pm 4,2	46,0 \pm 4,2	49,4 \pm 5,5	21,2 \pm 7,9
	KOF	6,6 \pm 1,3	26,4 \pm 2,5	43,6 \pm 3,5	44,0 \pm 3,4	44,5 \pm 3,4	44,5 \pm 3,4	52,2 \pm 7,4	25,4 \pm 9,8
RQ ¹	H ₂ O	0,72 \pm 0,07	0,85 \pm 0,03	0,88 \pm 0,05	0,87 \pm 0,05	0,87 \pm 0,07	0,87 \pm 0,05	0,97 \pm 0,05	0,86 \pm 0,04
	PLA	0,74 \pm 0,05	0,84 \pm 0,05	0,87 \pm 0,04	0,87 \pm 0,04	0,86 \pm 0,04	0,86 \pm 0,03	0,95 \pm 0,07	0,86 \pm 0,12
	KOF	0,83 \pm 0,07 ^{*#}	0,87 \pm 0,05	0,90 \pm 0,04	0,90 \pm 0,04	0,89 \pm 0,04	0,89 \pm 0,04	1,02 \pm 0,03 [#]	0,90 \pm 0,09

* p < 0,05 im Vergleich zu PLA; # p < 0,05 im Vergleich zu H₂O; ¹ statistische Analyse erfolgte mittels T-Test

Tabelle 2: Herzfrequenz und RPE-Werte (MW \pm SD) unter den verschiedenen Bedingungen unmittelbar vor (Ruhe), während und in der 3. Erholungsminute nach Testabbruch (E3)

		Ruhe	Warm-Up	10 min	20 min	30 min	40 min	Abbruch	E3
RPE ¹ [7-20]	H ₂ O	–	10,0 \pm 1,6	13,6 \pm 1,2	15,0 \pm 1,0	16,3 \pm 1,4	17,6 \pm 1,3	19,1 \pm 1,0	–
	PLA	–	10,3 \pm 1,2	13,8 \pm 1,0	15,1 \pm 0,8	16,7 \pm 1,1	17,7 \pm 1,6	19,3 \pm 0,7	–
	KOF	–	9,3 \pm 1,5 [*]	13,3 \pm 1,0	14,3 \pm 0,7	15,3 \pm 1,0 ^{*#}	16,2 \pm 1,2 ^{*#}	19,2 \pm 0,8	–
Herzfrequenz ¹ [min ⁻¹]	H ₂ O	65 \pm 7	113 \pm 10	145 \pm 10	154 \pm 7	161 \pm 6	165 \pm 7	177 \pm 10	130 \pm 10
	PLA	68 \pm 7	114 \pm 8	152 \pm 9	158 \pm 8	163 \pm 9	169 \pm 8	178 \pm 10	136 \pm 19
	KOF	67 \pm 10	116 \pm 9	151 \pm 7 [#]	157 \pm 7 [#]	163 \pm 7	168 \pm 8	183 \pm 9 ^{*#}	141 \pm 20 [#]

* p < 0,05 im Vergleich zu PLA; # p < 0,05 im Vergleich zu H₂O; ¹ statistische Analyse erfolgte mittels Wilcoxon-Test

Tabelle 3: Blutlaktatkonzentration, Glukose und freie Fettsäuren (MW \pm SD) unter den verschiedenen Bedingungen unmittelbar vor (Ruhe), während und in der 3. Erholungsminute nach Testabbruch (E3)

		Ruhe	Warm-Up	10 min	20 min	30 min	40 min	Abbruch	E3
Laktat ¹ [mmol/l]	H ₂ O	0,65 \pm 0,25	0,80 \pm 0,52	1,92 \pm 0,84	1,92 \pm 0,79	2,04 \pm 0,79	2,25 \pm 1,15	4,97 \pm 1,26	3,98 \pm 1,23
	PLA	1,22 \pm 0,37 [#]	0,64 \pm 0,11	2,24 \pm 0,74	2,37 \pm 0,71	2,57 \pm 0,89 [#]	2,81 \pm 1,21 [#]	5,19 \pm 1,60	4,60 \pm 1,43
	KOF	1,38 \pm 0,54 [#]	0,95 \pm 0,28 [*]	2,27 \pm 0,88	2,53 \pm 0,93 [#]	2,62 \pm 0,98 [#]	2,57 \pm 0,84	7,25 \pm 1,41 ^{*#}	6,66 \pm 1,55 ^{*#}
Glukose ² [mmol/l]	H ₂ O	4,70 \pm 0,51	4,17 \pm 0,69	4,15 \pm 0,68	4,28 \pm 0,34	4,43 \pm 0,49	4,79 \pm 0,72	4,82 \pm 0,71	5,61 \pm 0,90
	PLA	4,75 \pm 0,53	3,96 \pm 0,59	3,82 \pm 0,46	4,13 \pm 0,43	4,39 \pm 0,25	4,63 \pm 0,42	4,73 \pm 0,63	5,50 \pm 0,69
	KOF	4,93 \pm 0,54	3,98 \pm 0,85	3,82 \pm 0,57	4,11 \pm 0,37	4,34 \pm 0,44	4,50 \pm 0,60	4,76 \pm 0,79	5,84 \pm 1,21
Freie Fettsäuren ² [mmol/l]	H ₂ O	0,34 \pm 0,12	–	–	–	–	0,44 \pm 0,18	0,45 \pm 0,16	–
	PLA	0,29 \pm 0,07	–	–	–	–	0,35 \pm 0,11	0,39 \pm 0,14	–
	KOF	0,26 \pm 0,10	–	–	–	–	0,31 \pm 0,11 [#]	0,31 \pm 0,11 ^{*#}	–

* p < 0,05 im Vergleich zu PLA; # p < 0,05 im Vergleich zu H₂O; ¹ statistische Analyse erfolgte mittels Wilcoxon-Test;

² statistische Analyse erfolgte mittels T-Test

zwischen H₂O und PLA bei 30 und 40 min Belastung festgestellt werden ($p=0,008$). Nach KOF ergaben sich zu allen Messzeitpunkten höhere Laktatwerte im Vergleich zur Aufnahme von H₂O (20 min: $p=0,028$; 30 min: $p=0,051$; Abbruch: $p=0,011$; Post: $p=0,008$), mit Ausnahme während der Erwärmung und nach 10 min sowie 40 min Belastung. Unterschiede der Laktatkonzentration in PLA und KOF waren signifikant während der Erwärmung ($p=0,012$), bei Abbruch der Belastung ($p=0,021$) und 3 min nach der Belastung ($p=0,021$). Im Vergleich dazu hatten die unterschiedlichen Testbedingungen keinen Einfluss auf die Glukosekonzentration. Bei Abbruch der Belastung war die Konzentration an freien Fettsäuren geringer nach KOF im Vergleich zu den anderen Bedingungen (H₂O vs. KOF: $p=0,012$; PLA vs. KOF: $p=0,004$). Zusätzlich konnte ein Unterschied zwischen H₂O und KOF nach 40 min Belastung festgestellt werden ($p=0,04$).

Diskussion

Physiologische Parameter

Obwohl in der vorliegenden Studie eine Steigerung der maximalen Leistung sowie der Zeit bis zur Erschöpfung infolge der Aufnahme von Koffeinriegeln nachweisbar war, scheint dies nicht wie erwartet auf einem verbesserten Fettstoffwechsel zu beruhen. Im Vergleich zu den anderen Konditionen zeigte sich dies zum Zeitpunkt der Ausbelastung anhand einer niedrigeren Plasmakonzentration freier Fettsäuren infolge der Koffeinriegelaufnahme. Allerdings wiesen einige Autoren nach, dass Koffein einen direkten Effekt auf die Lipolyse intramuskulärer Triglyceride hat [8,29]. Demzufolge könnte eine Verschiebung der Energiebereitstellung stattgefunden haben, die unabhängig von der niedrigen Plasmakonzentration freier Fettsäuren ist. Im Gegensatz zu Spriet et al. [29] konnten Graham et al. [12] durch Muskelbiopsien vor und nach einer intensiven Belastung kaum Hinweise auf einen verbesserten Fettstoffwechsel nach der Gabe von Koffein finden. In der vorliegenden Untersuchung resultierte die Aufnahme der Koffeinriegel in höheren Laktatkonzentrationen während der Belastung, was dafür spricht, dass die Mobilisierung freier Fettsäuren durch eine kombinierte Aufnahme von Koffein und schnell verfügbaren Kohlenhydraten beeinträchtigt wurde. Trotzdem zeigte sich eine Leistungssteigerung, die auch in Untersuchungen anderer Autoren infolge einer kombinierten Aufnahme von Koffein und Kohlenhydraten berichtet wurde [33,35]. Yeo et al. [35] führten die positive Wirkung dabei auf eine gesteigerte Glukoseresorption im Darm zurück. Auch der bereits in Ruhe erhöhte RQ weist auf einen gesteigerten Abbau von Glucose und einen erhöhten Sauerstoffverbrauch infolge der Aufnahme der Koffeinriegel hin. Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse verschiedener Autoren [31,32], dass die antagonistische Wirkung des Koffeins auf Adenosin eine Insulinresistenz induziert und die Kohlenhydrataufnahme in den Muskelzellen hemmt. Dieser Mechanismus könnte zumindest die vergleichbare Glukosekonzentration zwischen den verschiedenen Testbedingungen erklären [32].

Aktuelle Reviews weisen darauf hin, dass das Blockieren der Adenosinrezeptoren und der damit verbundene neuronale Effekt des Koffeins der Hauptauslöser für Steigerungen der Ausdauerleistungsfähigkeit ist [9,28]. Demzufolge kann angenommen werden, dass auch eine Verbesserung der neuromuskulären Funktionen, die infolge der Koffeinsupplemen-

tation bereits nachgewiesen wurden [18], zur Leistungssteigerung beigetragen haben.

Subjektives Beanspruchungsempfinden

Die Ergebnisse bestätigen einen ergogenen Effekt des Koffeins [7,22], da die Beanspruchung bei der Ausbelastung von den Probanden unter Koffein niedriger eingeschätzt wurde. Laurent et al. [22] führen die positive Beeinflussung der Schmerzwahrnehmung bei verschiedenen Belastungsintensitäten auf eine höhere Ausschüttung von Endorphinen infolge der Koffeinaufnahme zurück. Ein niedrigerer RPE infolge der Aufnahme von Koffeinriegeln könnte demnach auf der Kombination einer erhöhten Endorphinausschüttung sowie der antagonistischen Wirkung auf Adenosin beruhen. Der Effekt des Koffeins auf den RPE-Wert erhöht sich dabei in Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs [7]. Während in der vorliegenden Studie ein niedrigerer RPE und eine erhöhte Laktatkonzentration im Zusammenhang mit der ergogenen Wirkung des Koffeins standen, konnten die erwarteten Effekte auf die Plasmakonzentration der Glukose und der freien Fettsäuren nicht belegt werden. Demzufolge ist Koffein als Stimulans des Zentralnervensystems zu sehen, was eine höhere Belastungstoleranz durch eine verzögerte Wahrnehmung der Ermüdung ermöglicht [30].

Limitationen

In der vorliegenden Studie wurde ein Einfachblind-Design verwendet, da der Untersucher die Supplemente entsprechend der Testbedingung vorbereitete. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch den Untersucher ist ausgeschlossen, da während der Ausbelastungsphase keine motivierenden Instruktionen erfolgten. Bezogen auf die Vergleichbarkeit der Riegel bestanden zwischen dem Placebo- und dem Koffeinriegel minimale Unterschiede. Dies war jedoch unumgänglich, um den bitteren Geschmack des Koffeinriegels zu neutralisieren, sodass die Probanden nicht in der Lage waren, ihn als solchen zu identifizieren.

Schlussfolgerung und Hinweise für die Sportpraxis

Die gleichzeitige Gabe von Koffein in Verbindung mit einem Kohlenhydratriegel kann die Ausdauerleistungsfähigkeit positiv beeinflussen. Bei einer Aufnahme von Koffein in der Dosis 5 mg/kg Körpergewicht über kohlenhydrathaltige Riegel konnte eine signifikante Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit beim Radfahren nachgewiesen werden. In Hinblick auf den Transfer der Ergebnisse in die Praxis hat sich das Dosierungsverhältnis der Koffeinriegel für Radsportler bewährt. Zu beachten ist, dass die gewichtsbezogene Dosis der Koffeinriegel vor einer intensiven Belastung nicht auf Athleten mit hohem Körpergewicht übertragen werden sollte, da z.B. ein Sportler mit 100 kg dann 5 Koffeinriegel konsumieren müsste. Diese Menge könnte die Verdauung und Leistungsfähigkeit insbesondere bei High-Impact-Sportarten (z.B. Laufen) beeinträchtigen.

Danksagung

Wir danken der VISPOaktiv GmbH (Loiching, Deutschland) für die Bereitstellung der Koffein- und Placeboriegel.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. phil. habil. Kuno Hottenrott, Department Sportwissenschaft, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Von-Seckendorff-Platz 2, 06120 Halle (Saale), Tel. 0345 55 244 21, Fax 0345 55 274 13, E-Mail: kuno.hottenrott@sport.uni-halle.de

Literatur

- 1 Beavo JA, Rogers NL, Crofford OB, Hardman JG, Sutherland EW, Newman EV. Effects of xanthine derivatives on lipolysis and on adenosine 3', 5'-monophosphate phosphodiesterase activity. *Mol. Pharmacol.* 1970;6:597-603.
- 2 Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt.* 2004;15:1016-1021.
- 3 Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, Anderson ME, Bruce CR. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol.* 2002;93:990-999. 4 Cureton KJ, Warren GL, Millard-Stafford ML, Wingo JE, Triuk J, Buyckx M. Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17:35-55.
- 5 DGSP (2007): S1-Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport. http://www.dgsp.de/_downloads/allgemein/S1_Leitlinie.pdf.
- 6 Dickhuth HH, Aufenanger W, Rokitzki L, Huonker M, Keul J. Lactate performance curve, performance assessment and training management of high performance athletes in middle- and longdistance running. *Int J Sports Med.* 1988;9:387-395.
- 7 Doherty M, Smith, PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2005;15:69-78.
- 8 Essig D, Costill DL, Van Handel P. Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int J Sports Med.* 1980;1:86-90.
- 9 Fredholm BB, Battig K, Holmen J, Nehlig A, Zvartau EE. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev.* 1999;51:83-133.
- 10 Fredholm BB. Are methylxanthine effects due to antagonism of endogenous adenosine? *TIPS.* 1980;1:129-132.
- 11 Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2009;23:315-324.
- 12 Graham TE, Batteram DS, Dela F, El-Sohemy A, Thong FS. Does caffeine alter muscle carbohydrate and fat metabolism during exercise? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:1311-1318.
- 13 Graham TE, Hibbert E, Sathasivam P. Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. *J Appl Physiol.* 1998;85:883-889.
- 14 Graham TE, Spriet LL. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol.* 1995;78:867-874.
- 15 Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med.* 2001;31:785-807.
- 16 Hottenrott K, Hass E, Kraus M, Neumann G, Steiner M, Knechtle B. A scientific nutrition strategy improves time trial performance by ~6% when compared with a self-chosen nutrition strategy in trained cyclists: a randomized cross-over study. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;37:637-645.
- 17 Ivy J, Kammer L, Ding Z, Wang B, Bernard JR, Liao Y, Hwang Improved J. Cycling Time-Trial Performance After Ingestion of a Caffeine Energy Drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19:61-78.
- 18 Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol.* 1999;87:801-808.
- 19 Keisler BD, Armsey TD. Caffeine as an ergogenic aid. *Curr Sports Med Rep.* 2006;5:215-219.
- 20 Kovacs EMR, Stegen JHCH, Brouns F. Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *J Appl Physiol.* 1998;85:709-715.
- 21 Lassiter DG, Kammer L, Burns J, Ding Z, Kim H, Lee J, Ivy JL. Effect of an Energy Drink on Physical and Cognitive Performance in Trained Cyclists. *J Caff Res.* 2012;2:167-175.
- 22 Laurent D, Schneider KE, Prusaczyk WK, Franklin C, Vogel SM, Krssak M et al. Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. *J Clin Endocrinol Metab.* 2000;85:2170-2175.
- 23 Liguori A, Hughes JR, Grass JA. Absorption and subjective effects of caffeine from coffee, cola and capsules. *Pharmacol Biochem Behav.* 1997;58:721-726.
- 24 Mumford GK, Benowitz NL, Evans SM, Kaminski BJ, Preston KL, Sannerud CA et al. Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate. *Eur J Clin Pharmacol.* 1996;51:319-325.
- 25 Nehlig A, Daval JL, Debry G. Caffeine and the central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects. *Brain Res Rev.* 1992;17:139-170.
- 26 Pasman WJ, van Baak MA, Jeukendrup AE, de Haan A. The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *Int J Sports Med.* 1995;16:225-230.
- 27 Snyder SH, Katims JJ, Annau Z, Bruns RF, Daly JW. Adenosine receptors and behavioral actions of methylxanthines. *Proc Natl Acad Sci.* 1981;78:3260-3264.
- 28 Sokmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, Casa DJ, Dias JC, Judelson DA et al. Caffeine use in sports: Considerations for the athlete. *J Strength Cond Res.* 2008;22:978-986.
- 29 Spriet LL, MacLean DA, Dyck DJ, Hultman E, Cederblad G, Graham TE. Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. *Am J Physiol.* 1992;262:891-898.
- 30 Tarnopolsky MA. Caffeine and creatine use in sport. *Ann Nutr Metab.* 2010;57:1-8.
- 31 Thong FS, Derave W, Kiens B, Graham TE, Ursø B, Wojtaszewski JF et al. Caffeine-induced impairment of insulin action but not insulin signaling in human skeletal muscle is reduced by exercise. *Diabetes.* 2002;51:583-590.
- 32 Thong FS, Graham TE. Caffeine-induced impairment of glucose tolerance is abolished by b-adrenergic receptor blockade in humans. *J Appl Physiol.* 2002;92:2347-2352.
- 33 Van Nieuwenhoven MA, Brummer RM, Brouns F. Gastrointestinal function during exercise: comparison of water, sports drink, and sports drink with caffeine. *J Appl Physiol.* 2002;89:1079-1085.
- 34 Waldeck B. Sensitization by caffeine of central catecholamine receptors. *J Neural Transm.* 1973;34:61-72.
- 35 Yeo SE, Jentjens RL, Wallis GA, Jeukendrup AE. Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *J Appl Physiol.* 2005;99:844-850.