

A. Ferrauti, S. Pieper, K. Seeber, K. Weber

Keine Leistungssteigerung durch Koffein bei Intervallararbeit in den Sportspielen?

No ergogenic effect of caffeine in intermittent game sports exercise?

Institut für Sportspiele, Deutsche Sporthochschule Köln

Zusammenfassung

Ziel der Studie war die differenzierte Analyse der Auswirkungen von Koffein während einer Intervallbelastung im Tennis.

Methode: 12 weibliche (Alter $21,8 \pm 2,4$ Jahre; BMI $21,1 \pm 1,7$ kg/m²) und 12 männliche (Alter $23,6 \pm 2,2$ Jahre; BMI $22,6 \pm 1,6$ kg/m²) Turnierspieler absolvierten an zwei Versuchstagen das gleiche Testprotokoll, bestehend aus 60 min Einzelmatch (M), 30 min standardisierter Matchsimulation (MS) an der Ballwurfmaschine und einem 30 min intensiven Intervalldrill (ID). Doppelblind und randomisiert wurden 1 Std. vor Beginn 5 mg/kg Koffein (K) oder ein identisch schmeckendes Placebo (P) verabreicht. **Ergebnisse:** Blutlaktat in M (K: $2,45 \pm 0,86$ vs. P: $1,65 \pm 0,57$ mmol/l), MS (K: $3,82 \pm 1,29$ vs. P: $2,60 \pm 0,95$ mmol/l) und ID (K: $6,51 \pm 2,10$ vs. P: $5,00 \pm 2,41$ mmol/l) wurden durch Koffein signifikant erhöht. Gewonnene Punkte in M (K: $48,9 \pm 9,9$ vs. P: $51,1 \pm 9,9$ %), Fehlerquote in MS (K: $33,4 \pm 7,6$ vs. P: $33,7 \pm 9,4$ %) sowie Schlaggeschwindigkeit in ID (K: $101,8 \pm 9,7$ vs. P: $100,0 \pm 8,1$ km/h) blieben durch Koffein unbeeinflusst. Belastungsempfinden (RPE-Skala) und Leistungswille (10 Punkt-Skala) wiesen ebenfalls keine Unterschiede auf zwischen K und P. Signifikante Wechselwirkungen zwischen Geschlecht und Supplementierung wurden nicht gefunden. **Schlussfolgerungen:** Koffeingaben geringer Dosis steigern die glykolytische Aktivität im Tennis, so dass von einer stärkeren Verstoffwechslung der Kohlenhydrate ausgegangen werden kann. Die tennisspezifische Leistungsfähigkeit scheint bei Damen und Herren durch Koffein nicht gesteigert zu werden.

Schlüsselwörter: Tennis, Intervallararbeit, Glykolyse, Leistungsbereitschaft, Schlagqualität

Einleitung

Das Wirkungsspektrum von Koffein im menschlichen Organismus ist vielfältig und birgt für die Sportspiele mit ihren hohen metabolischen, kognitiven und muskulären Beanspruchungen möglicherweise eine Reihe leistungsphysiologisch relevanter Potentiale in sich (Abb. 1).

Im Zentralnervensystem blockiert Koffein die hemmend wirkenden Adenosinrezeptoren und induziert hierdurch eine Steigerung der neuronalen Erregbarkeit im Verbund mit erhöhtem Neurotransmitter-Release (26, 29, 31). In der Folge sind kognitive Effekte wie der Anstieg von Wachsamkeit und Aktivierungsniveau in Ruhe (23) sowie die Verbesserung von visueller Aufmerksamkeit, Reaktionsschnelligkeit und Erin-

Summary

The aim of the study was a detailed analysis of the effects of caffeine consumption during an intermittent tennis test. – **Methods:** On two experimental days 12 female (age 21.8 ± 2.4 years; BMI 21.1 ± 1.7 kg/m²) and 12 male (age 23.6 ± 2.2 years; BMI 22.6 ± 1.6 kg/m²) tournament tennis players completed the same protocol which consisted of a 60 min singles match (M) followed by a 30 min standardized match simulation (MS) by the use of a ball-machine and a 30 min intermittent exercise drill (ID). One hour pre-exercise we administered double blind and randomized either 5 mg/kg caffeine (C) or an identically flavoured placebo (P).

Results: Blood lactate concentration in M (C: 2.45 ± 0.86 vs. P: 1.65 ± 0.57 mmol/l), MS (C: 3.82 ± 1.29 vs. P: 2.60 ± 0.95 mmol/l) and ID (C: 6.51 ± 2.10 vs. P: 5.00 ± 2.41 mmol/l) was significantly increased after caffeine consumption. Percentage of points won in M (C: 48.9 ± 9.9 vs. P: 51.1 ± 9.9 %), percentage of errors in MS (C: 33.4 ± 7.6 vs. P: 33.7 ± 9.4 %) as well as the stroke velocity in ID (C: 101.8 ± 9.7 vs. P: 100.0 ± 8.1 km/h) were not affected by caffeine. Perceived exertion (RPE-scale) and motivation (10 point scale) did not show a main effect between C and P. No gender-specific differences were found.

Conclusions: Administration of a low caffeine dosage during an intermittent tennis test increases the glycolytic activity, pointing to a higher utilization of carbohydrates. Tennis-specific performance does not seem to be increased by caffeine in men and women.

Key words: Tennis, intermittent exercise, glycolysis, motivation, stroke quality

nerungsvermögen nach anstrengender körperlicher Aktivität nachgewiesen (20).

In der Peripherie steigt die Plasmakonzentration der Katecholamine und insbesondere von Adrenalin als Folge der zentralnervösen Veränderungen sowie durch unmittelbare Stimulation des Nebennierenmarks an (15, 18). An der Zellmembran modulieren Adrenalin (direkt über β -Rezeptoren) und Koffein (indirekt durch Blockade der Adenosinrezeptoren) den intrazellulären Signaltransfer über gesteigerte cAMP-Bildung. Dessen aktivierende Wirkung auf Lipolyse und Glykogenolyse wird zusätzlich durch die hemmende Wirkung von Koffein auf die Phosphodiesterase erhöht, so dass sich cAMP-Lebensdauer und Hormoneffekt verlängern (29).

Ergänzend zu den genannten Effekten steigert Koffein die Ca^{++} Permeabilität im sarkoplasmatischen Retikulum der Muskelzelle sowie die intrazelluläre Kaliumkonzentration und optimiert hierdurch Erregbarkeit, Kontraktilität und Kontraktionskraft der Muskulatur (24, 31).

Ende der 70er Jahre mehrten sich aus der Arbeitsgruppe um *Costill* (6, 7, 21) die Hinweise, dass die Zufuhr von Koffein eine Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit bei submaximaler Arbeit ermöglicht. Ursächlich hierfür wurde die Aktivierung der Lipolyse mit erhöhtem muskulären Uptake und Oxidation von Freien Fettsäuren (FFS) sowie eine verbesserte Utilisation der intramuskulären Triglyceride und in der Folge eine Einsparung des Muskelglykogens vermutet. Jüngere Arbeiten belegen, dass eine Glykogeneinsparung entweder nur in den ersten fünfzehn Belastungsminuten erfolgt (19) oder vollständig ausbleibt (2, 16, 22). Da jedoch ein leistungssteigernder Effekt von Koffein sowohl bei submaximaler Ausdauerbeanspruchung (z.B. 27) als auch bei intensiver Intervallarbeit (z.B. 22) wiederholt nachgewiesen wurde, treten mehrfaktorielle Erklärungsansätze, basierend auf dem gesamten Spektrum von metabolischen, neuromuskulären und mentalen Auswirkungen von Koffein (Abb. 1), derzeit in den Vordergrund der Diskussion (19).

Kompartiment	Primäreffekt	Sekundäreffekt
ZNS	<ul style="list-style-type: none"> → Adenosinrezeptorblockade → Neuronale Erregbarkeit ↑ → Neurotransmitter ↑ 	<ul style="list-style-type: none"> Wachheit ↑ Aktivierungsniveau ↑ Belastungsempfinden ↓
Extrazellulärraum	<ul style="list-style-type: none"> → Noradrenalin ↑ → Adrenalin ↑ 	<ul style="list-style-type: none"> HF ↑ RR ↑ Muskeltonus ↑
Zellmembran	<ul style="list-style-type: none"> → Adenosinrezeptorblockade → Adenylzyklase ↑ 	<ul style="list-style-type: none"> Lipase/Phosphorylase ↑
Intrazellulärraum	<ul style="list-style-type: none"> → cAMP ↑ → Phosphodiesterase ↓ 	<ul style="list-style-type: none"> Lipolyse ↑ Glyko(geno)lyse ↑
Intrazellulärraum	K ⁺ Konzentration ↑	Kontraktilität ↑
Sarkoplasmatisches Retikulum	Ca ⁺⁺ Permeabilität ↑	Kontraktionskraft ↑

Abbildung 1: Wirkungsspektrum von Koffein im menschlichen Organismus

In den wenigen sportspielspezifisch angewandten Feldstudien zeigten sich bislang keine überzeugenden Vorteile einer Koffeinsupplementation. Die kombinierte Verabreichung eines Kohlenhydrat/Koffein-Getränktes (5 mg Koffein/kg Körpergewicht) ergab im Vergleich zu einem reinen Kohlenhydrat-Getränk keine Verbesserung von Schlagqualität und Sprintfähigkeit (33). Die Laufschnelligkeit von 16 Spilsportlern blieb im Verlauf eines Intervall-Sprinttests (10x20 m, 10 s Pause) durch Koffein (6 mg Koffein/kg Körpergewicht) ebenfalls unbeeinflusst (28). Nur in einer Studie deutet sich ein spezifisch leistungssteigernder Effekt im Damentennis an. Gegen Ende eines vierstündigen Trainingseinzelns konnte ein Abfall der subjektiven Leistungsbereitschaft durch die regelmäßige Zufuhr geringer Koffeindosen beim Seitenwechsel gebremst werden (8).

In der vorliegenden Studie griffen wir die Frage nach einer möglicherweise geschlechtsspezifischen Wirkung von Koffein auf die Sportspielleistung erneut auf und führten diese unter weitgehend validen und gleichzeitig standardisierten Versuchsbedingungen einer differenzierten Klärung zu.

Methode

Probandengut

An der Studie beteiligten sich 12 weibliche (Alter 21,8±2,4 Jahre; BMI 21,1±1,7 kg/m²) und 12 männliche (Alter 23,6±2,2 Jahre; BMI 22,3±1,6 kg/m²) Turniertennisspieler. Zehn Herren und sechs Damen wiesen zum Untersuchungszeitpunkt eine Platzierung auf der Deutschen Rangliste auf. Alle Herren und sieben Damen waren in der Oberliga des Deutschen Tennis Bundes aktiv; fünf Damen wiesen Verbandsliga-Spielstärke auf. Die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit wurde nicht ermittelt.

Zentrales Auswahlkriterium war eine ausreichend hohe und homogene Spielstärke. Das alltägliche Konsumverhalten von Koffein wurde erfragt und betrug bei den Damen 100±85 (Maximum 300) mg/Tag und bei den Herren 160±20 (Maximum 300) mg/Tag. Die Probanden waren gesund und nahmen neben Kontrazeptiva keine Medikamente zu sich. Die Spieler wurden vor der Untersuchung über alle Details des Untersuchungsverlaufs informiert und gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung über die Teilnahme. Sie waren aufgefordert, am Vortag der Untersuchungen keine anstrengende körperliche Arbeit zu verrichten und ab 15:00 Uhr keine koffeinhaltigen Nahrungsmittel zuzuführen.

Untersuchungsgang

Alle Probanden absolvierten an zwei Versuchstagen im Abstand von einer Woche drei identische tennisspezifische Belastungen hintereinander über einen Zeitraum von insgesamt 150 min. Die Tennisbelastungen fanden in einer Tennishalle unter weitgehend standardisierten Umgebungsbedingungen (gleicher Platz, gleiche Uhrzeit, durchschnittlich 22° C) auf einem schnellen Teppichbodenbelag statt. Jeweils ein leistungshomogenes männliches oder weibliches Probandenpaar fand sich um 7:30 Uhr in der Tennishalle ein und verzehrte 90 min vor Belastungsbeginn gemeinsam ein standardisiertes Frühstück (2300 KJ, 77 % Kohlenhydrate, 14 % Fett, 9 % Eiweiß). Während der ersten 30 min des Frühstücks nahmen die Spieler 1 l warmen Hagebuttentees zu sich, der doppelblind, randomisiert und im cross-over Verfahren an jeweils einem Versuchstag mit 5 mg Koffein pro kg Körpergewicht angereichert war. Jeder Tee wurde mit zwei Beuteln gebraut. Vorausgehende Geschmackstests ergaben keine Geschmacksveränderung durch Koffein. Die absolut zugeführte Koffeinmenge betrug bei den Damen zwischen 270 und 340 mg und bei den Herren zwischen 320 und 450 mg, vergleichbar mit der Auf-

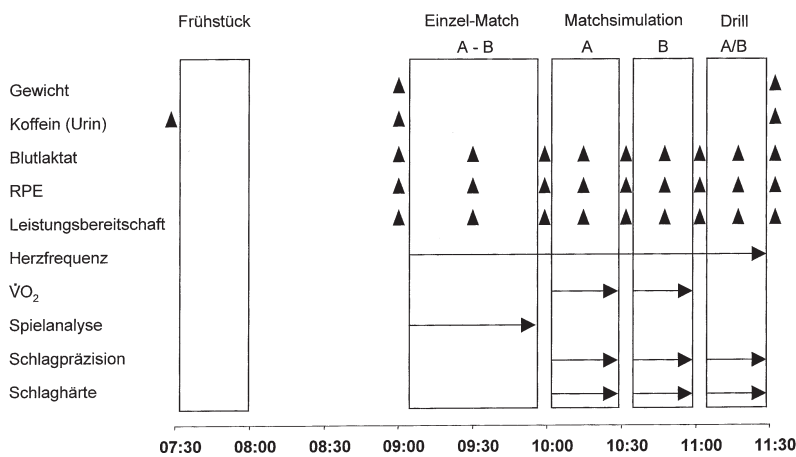


Abbildung 2: Untersuchungsdesign, Messzeitpunkte und Parameter

nahme von ca. drei bzw. vier Tassen eines stark gebrauten Kaffees.

Belastungsformen

Die Belastungen auf dem Tennisplatz begannen jeweils um 9:00 Uhr und bestanden aus einem 60 min Einzelmatch (M), einer 30 min standardisierten Matchsimulation an der Ballwurfmaschine (MS) und einem 30 min standardisierten, intensiven Intervalldrill (ID) an der Ballwurfmaschine (Abb. 2). **Match:** Spiel- und Zählweise (einschl. Seitenwechsel) nach den amtlichen Regeln des Deutschen Tennis Bundes. Als Leistungsindizes registrierten wir:

- Aufschlagsicherheit: prozentuale Gültigkeit der ersten Aufschläge,
- Spielerfolg: prozentuale Häufigkeit der gewonnenen/verlorenen Punkte

Matchsimulation: Die Spieler absolvierten nacheinander einen standardisierten Ballwurfmaschinentest über 30 min Dauer, der das Beanspruchungsprofil (Schlagzahl pro Ballwechsel, Nettospielzeit, Ballwechsel- und Pausendauer) im Tennis-Einzelwettkampf auf Sandplätzen simulierte (25, 33). Eröffnet durch einen ersten Aufschlag des Spielers, abwechselnd von der rechten oder linken Aufschlagseite, spielte die vorprogrammierte Ballwurfmaschine (MIHA 1000 TR, Augsburg) unmittelbar anschließend eine festgelegte jedoch variierende und unbekannte Zahl an Bällen mit randomisierter Flugrichtung zu. Die Zahl der hintereinander zugespielten Bälle differierte zwischen mindestens zwei und maximal zehn und betrug im Mittel 4,2 Schläge pro Ballwechsel. Die Spieler waren angewiesen, nach ihrem Aufschlag das Spiel von der Grundlinie fortzuführen. Alle longline-Schläge wurden hinsichtlich ihrer Schlag-

härte und Präzision einer gesonderten Auswertung unterzogen und galten als Kennzeichen der Aggressivität des Spielers.

Abweichend zu den anderen Belastungsformen trugen die getesteten Spieler während der Matchsimulation ein portables Spirometriegerät (Cosmed K4b², Rom). Alle Spieler waren über die definierten Leistungsindizes informiert. Im Einzelnen registrierten wir:

- Aufschlagsicherheit: prozentuale Gültigkeit der ersten Aufschläge,
- Fehleranfälligkeit: prozentuale Fehlerhäufigkeit aller Grundlinienschläge,
- Aggressivität: prozentuale Häufigkeit der Longline-Winner Schläge,
- Schlaghärte: Schlaggeschwindigkeit der Longline Schläge.

Intervalldrill: Zwei Spieler absolvierten gleichzeitig zwei Serien mit je 6x8 Schlägen (insgesamt 96 Schläge). Der Wechsel zwischen den Spielern erfolgte nach jeweils acht Schlägen. Während einer Einzelbelastung von acht Schlägen spielten die Probanden abwechselnd einen Vorhand- bzw. Rückhand-Grundlinienschlag mit festgelegter Schlagrichtung (abwechselnd longline und cross). Das Zuspiel erfolgte mittels Ballwurfmaschine gleichmäßig in die Vorhand- bzw. Rückhand-Ecke des Einzelfeldes mit einer Geschwindigkeit von circa 60-65 km/h. Die Testanweisung an die Spieler bestand darin, jeden Schlag mit möglichst hoher Geschwindigkeit in ein Zielfeld (2,1 m Länge x 1,5 m Breite) an der gegenüberliegenden Grundlinie zu platzieren. Folgende Leistungsindizes wurden registriert:

- Schlagpräzision: Anzahl der Schläge im Einzelfeld und im Zielfeld,
- Fehleranfälligkeit: Anzahl der fehlerhaften Schläge,
- Schlaghärte: Schlaggeschwindigkeit der Schläge (VH, RH).

Messverfahren

Die erhobenen Parameter und Messzeitpunkte können aus Abbildung 2 entnommen werden. Für die Spiel- und Schlaganalyse kam ein handschriftlicher Beobachtungsbogen zum Einsatz. Zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraum ermittelten wir die Koffeinkonzentration im Urin mittels

Tabelle 1: Herzfrequenz (HF), relative Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$), subjektives Belastungsempfinden (RPE-Skala) und subjektive Leistungsbereitschaft ($\bar{X} \pm S$) während drei verschiedener tennisspezifischer Belastungsformen (Match, Matchsimulation, Intervalldrill) bei Damen (n=12) und Herren (n=12) in Abhängigkeit von einer Koffeinsupplementierung.

		Damen		Herren		p-Werte		
		Koffein	Placebo	Koffein	Placebo	Sex	Koffein	S x K
Match	HF [S/min]	159±13	146±16	143±8	132±19	0,000**	0,016	0,464
	RPE	13,4±0,9	12,8±2,8	13,3±1,4	13,4±1,2	0,339	0,392	0,221
	Leistungsbereitschaft	7,0±1,9	6,8±2,8	7,1±2,4	6,9±2,5	0,708	0,513	0,459
MS	$\dot{V}O_2$ [ml/kg/min]	32,4±7,0	35,8±4,5	37,1±5,8	35,7±4,5	0,273	0,450	0,077
	HF [S/min]	175±9	170±9	157±7	150±18	0,000**	0,008**	0,580
	RPE	16,6±0,7	16,4±1,2	15,8±1,6	15,4±2,3	0,171	0,510	0,763
	Leistungsbereitschaft	8,3±1,1	7,4±1,6	7,3±1,9	7,0±2,1	0,193	0,222	0,633
ID	HF [S/min]	178±11	171±10	167,7±6	164±15	0,002**	0,223	0,308
	RPE	17,5±1,2	17,0±1,0	17,3±1,8	17,5±1,7	0,797	0,394	0,226
	Leistungsbereitschaft	6,7±1,9	7,6±1,4	7,0±1,9	7,0±1,8	0,409	0,910	0,398

Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie (HPLC HP1090, Hewlett Packard, Waldbronn) entsprechend den Vorgaben von *Gotzmann und Donike* (14). Die Bestimmung der Blutlaktatkonzentration erfolgte in engen Zeitabständen enzymatisch/amperometrisch aus dem Kapillarblut des Ohrläppchens (Ebio plus, Eppendorf,

Hamburg). Die Herzfrequenz wurde fortwährend in 15 s Speicherintervallen registriert (Vantage NVTM, Polar Electro Oy, Kempele, Finnland). Während der Matchsimulation kam das portable Spirometriegerät K4b² der Firma Cosmed (Rom, Italien) zum Einsatz. Gas-, Verzögerungs- und Raumluftkalibrierungen wurden vor jeder Messung durchgeführt. Zur Befragung des subjektiven Belastungsempfindens verwendeten wir die RPE-Skala (3). Zur ergänzenden Erfassung einer der momentanen Erschöpfung übergeordneten „allgemeinen körperlichen Leistungsbereitschaft“ (9) diente eine 10 Punkt-Skala (10= Leistungsbereitschaft sehr groß, 8=groß, 6=mittel, 4=gering, 2=sehr gering). Die Schlaggeschwindigkeit aller longline-Schläge wurde mittels zwei entlang der Seitenauslinie ausgerichteter Radarpistolen registriert (Fiedel GmbH, Waldenbuch).

Statistik

Zur beschreibenden Statistik dienten arithmetisches Mittel (\bar{x}) und Standardabweichung ($\pm S$). Die Prüfstatistik erfolgte durch mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Meswiederholung für die Haupteffekte Geschlecht (Sex) und Supplementierung (Koffein) sowie deren Wechselwirkungen untereinander (S x K). Signifikante Einzeleffekte wurden mittels des NEWMAN-KEULS-Tests berechnet (34). Für die Berechnungen diente das Statistikpaket EASYSSTAT (entwickelt von H. LÜPSEN, Universität Köln). Folgende Signifikanzschranken wurden festgelegt: $p \leq 0,05$ = signifikant (*) und $p \leq 0,01$ = hochsignifikant (**).

Ergebnisse

Die Koffeinsupplementierung führte in allen drei Versuchsabschnitten zu einem hochsignifikanten Anstieg der Laktatkonzentration im Kapillarblut auf jeweils zunehmendem Niveau (Match < Matchsimulation < Intervalldrill). Zwischen Damen und Herren zeigten sich keine nennenswerten Unterschiede (Abb. 3). Die männlichen

Tabelle 2: Leistungsindizes ($\bar{X} \pm S$), während drei verschiedener tennisspezifischer Belastungsformen (Match, Matchsimulation, Intervalldrill) bei Damen (n=12) und Herren (n=12) in Abhängigkeit von einer Koffeinsupplementierung.

		Damen		Herren		p-Werte		
		Koffein	Placebo	Koffein	Placebo	Sex	Koffein	S x K
Match	1. Aufschlag gültig [%]	56,0 \pm 7,6	56,7 \pm 12,9	64,8 \pm 9,2	60,0 \pm 9,2	0,089	0,364	0,240
	Punktgewinn [%]	48,2 \pm 6,4	51,8 \pm 6,4	49,3 \pm 8,0	50,7 \pm 8,0	0,808	0,351	0,824
MS	1. Aufschlag gültig [%]	56,9 \pm 15,3	59,8 \pm 12,8	59,6 \pm 10,9	60,3 \pm 11,0	0,683	0,600	0,749
	Fehler [%]	35,7 \pm 7,7	36,1 \pm 7,9	31,1 \pm 7,0	31,2 \pm 10,5	0,140	0,878	0,910
	Winner [%]	32,0 \pm 12,3	35,1 \pm 11,6	30,4 \pm 7,5	25,5 \pm 10,2	0,160	0,625	0,053
	Winner [km/h]	95,8 \pm 7,0	94,4 \pm 6,6	105,7 \pm 6,6	105 \pm 6,9	0,000**	0,651	0,810
ID	Feldtreffer [n]	51,0 \pm 11,3	55,8 \pm 8,6	56,8 \pm 10,4	55,7 \pm 11,6	0,430	0,434	0,217
	Zieltreffer [n]	8,6 \pm 4,6	10,4 \pm 6,0	9,9 \pm 2,0	11,2 \pm 3,7	0,444	0,213	0,814
	Fehler [n]	36,5 \pm 9,6	34,3 \pm 9,3	41,0 \pm 10,4	39,3 \pm 11,4	0,181	0,404	0,913
	Schlaghärate [km/h]	96,1 \pm 7,1	94,4 \pm 6,1	107,5 \pm 8,7	106,0 \pm 5,0	0,000**	0,142	0,890

Spieler tendierten während der Matchsimulation zu einer höheren Sauerstoffaufnahme (Tab. 1). In keiner der 96 Urinproben wurde die Dopinggrenze (12 mg/ml Urin) überschritten.

Die Herzfrequenz lag nach Koffeinzufuhr während Match und Matchsimulation auf signifikant höherem Niveau als im Kontrollversuch (Tab. 1). Bei den Damen wurden durchweg

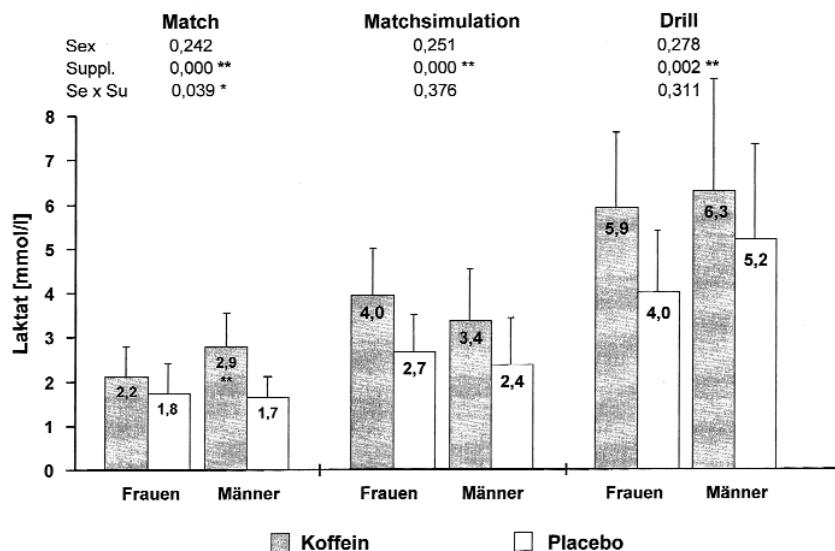


Abbildung 3: Blutlaktatkonzentration nach Beendigung von drei unterschiedlichen Belastungsphasen mit oder ohne Koffeinsupplementierung bei weiblichen (n=12) und männlichen (n=12) Probanden.

höhere Herzfrequenzen gemessen als bei den Herren. Geschlechtsspezifische Besonderheiten in der Herzfrequenzreaktion auf Koffein fielen nicht auf. Die Skalierung von Belastungsempfinden (RPE) und Leistungsbereitschaft ergab in beiden Versuchstagen bei Damen und Herren keine nennenswerten Unterschiede (Tab. 1).

Sämtliche Leistungsindizes blieben in allen drei Versuchsabschnitten durch die Koffeinsupplementierung unbeeinträchtigt (Tab. 2). Männliche Probanden tendierten im Gegensatz zu den Damen während der Matchsimulation unter Koffein vermehrt zu Winner-Schlägen ($p=0,053$). Die Herren erreichten eine signifikant höhere Schlaggeschwindigkeit (Tab. 2).

Diskussion

Als Kernbefund der vorliegenden Studie kann herausgestellt werden, dass die tennisspezifische Leistungsfähigkeit durch die Zufuhr von Koffein in einer unter Alltagsbedingungen vergleichsweise hohen Dosis (3-4 Tassen Kaffee) bei Spielern beiderlei Geschlechts im Mittel unverändert bleibt, obwohl erhebliche metabolische und kardiozirkulatorische Effekte nachweisbar sind (Tab. 1 und 2, Abb. 3).

In allen drei Versuchsabschnitten stieg die Blutlaktatkonzentration durch Koffein signifikant an, wobei die Reizhöhe während Match, Matchsimulation und Intervalldrill eine jeweils unterschiedliche Dominanz bzw. Gewichtung der verschiedenen Stoffwechselwege für die Energiebereitstellung signalisieren (Abb. 3). Auch in zahlreichen anderen Studien mit jeweils heterogener Belastungsstruktur und Reizhöhe zeigte sich unter dem Einfluss von Koffein eine erhöhte Blutlaktatkonzentration. Dies betrifft stufenförmig ansteigende Belastungen (13), kontinuierliche Laufbeanspruchungen (30) sowie intensive Kurzzeit-Intervallarbeit auf dem Fahrradergometer (1). Zur Erklärung dieses Phänomens werden verschiedene Ansätze diskutiert. Allen voran lassen die erhöhte Leistungsbereitschaft und die verbesserte muskuläre Kontraktilität und Kraftentfaltung eine Steigerung von Energieumsatz und demzufolge auch der glykolytischen Energieflussrate erwarten (Abb. 1). Darüber hinaus favorisieren einige Autoren die These, dass Glykogenolyse und Glykolyse per se, auch ohne Anstieg des energetischen Outputs stärker aktiviert werden (1, 5, 22). Dies wird auf die koffeininduzierte intrazellulär erhöhte Calciumverfügbarkeit und die calciumabhängig beschleunigte Transformation der für die Glykogenolyse geschwindigkeitsbestimmenden Phosphorylase in ihre aktive Form zurückgeführt (Abb.1).

Einen wichtigen Klärungsschritt bei der Abwägung beider Hauptursachen lieferten *Jackman und Mitarbeiter* in ihrer Studie (22). Sie stellten nach Verabreichung von 6 mg/kg Koffein fest, dass bei kontrolliert identischer Leistung (power output) die Laktatkonzentration auch intramuskulär signifikant ansteigt. Folglich können eine Steigerung des Energieumsatzes sowie eine veränderte zelluläre Laktatauschwemmung bzw. dessen periphere Elimination als Primärursachen für Unterschiede der Blutlaktatkonzentration ausgeschlossen werden. Die während der Matchsimulation in der Gesamtgruppe unveränderte Sauerstoffaufnahme (Tab. 1) lässt vermuten, dass auch in der vorliegenden Studie vorrangig die intrazellulär enzymatisch bedingten metabolischen Veränderungen und nicht eine Steigerung von körperlicher Aktivität und Energieumsatz zu einer Aktivierung der Glykolyse mit Erhöhung der Blutlaktatkonzentration unter Koffeinfluss geführt haben.

Aus leistungsphysiologischer Sicht sprechen die Ergebnisse gegen eine mögliche Einsparung des Muskelglykogens durch Koffein im Tennissport zugunsten einer verstärkten Verstoffwechslung der Körperfette, wie dies für moderate Dauerbelastungen postuliert wurde (6, 7, 21). Zwar fehlen für eine endgültige Klärung dieser Frage sämt-

liche Parameter des Fettstoffwechsels; eine Aktivierung von Glykolyse und Fettoxidation, bei gleichzeitig unverändertem Energieumsatz, kann jedoch im Normalfall ausgeschlossen werden. Auch in anderen Untersuchungen auf der Basis intensiver Dauer- oder Intervallbelastung führte Koffein nicht zu einer Einsparung des Muskelglykogens (2, 16, 22). In Übereinstimmung mit *Jackman et al.* (22) nehmen wir an, dass Struktur und Intensität der Beanspruchung und in dem Zusammenhang die primär rekrutierten Muskelfasertypen darüber entscheiden, welche der durch Koffein vermehrt bereitgestellten Substrate bzw. gebahnten Stoffwechselwege für die Energiebereitstellung bevorzugt herangezogen werden. Intensive Intervallarbeit in den Sportspielen bietet vermutlich - auch bei entsprechend hoher peripherer Mobilisation - ungünstige Voraussetzungen für eine effiziente Utilisation der Fette im Rahmen der Energiebereitstellung (10).

Das subjektive Belastungsempfinden (RPE) und die allgemeine körperliche Leistungsbereitschaft (Tab. 1) sowie sämtliche tennisspezifisch-koordinativen Leistungsindizes (Tab. 2) blieben im Mittel von der Koffeinsupplementierung unbeeinflusst. *Vergauwen et al.* (33) stellten unter ähnlichen Testbedingungen ebenfalls keine Veränderungen von Spielerfolg und Schlagqualität während einer standardisierten Matchsimulation unter Verabreichung eines Kohlenhydrat/Koffein-Getränkes fest. Auch eine geschlechtsspezifisch ergogene Wirkung von Koffein im Damentennis, wie dies von unserem Arbeitskreis bereits publiziert wurde (8), konnte mit den vorliegenden Daten nicht bestätigt werden (Tab. 2). Die wenigen übrigen Arbeiten zu dieser Thematik geben ebenfalls keinen Hinweis auf einen geschlechtsabhängigen Wirkungsmechanismus von Koffein (4, 17). Zusammenfassend sprechen unsere Befunde bei koordinativ und metabolisch anspruchsvoller Intervallarbeit in den Sportspielen daher gegen eine allgemeingültige und geschlechtsspezifische Leistungssteigerung sowie gegen eine Veränderung der evaluierten mentalen Aspekte durch Koffein.

Methodenkritisch muss hierbei berücksichtigt werden, dass in Bezug auf die Erfassung der Sportspilleistung eine unzureichende Trennschärfe und Validität der Testinstrumente niemals vollständig ausgeschlossen werden können. Ferner resultiert eine im Mittelwert über alle Probanden unveränderte Leistungsfähigkeit möglicherweise aus interindividuell divergierenden positiven oder negativen Koffeinwirkungen (Responders und Non-Responders). So ist nicht auszuschließen, dass Koffein bei einigen Spielern eine Optimierung des Aktivierungsniveaus, bei anderen Spielern jedoch möglicherweise eine Hyperaktivierung mit erhöhtem, jedoch unzureichendem bzw. fehlgeleitetem körperlichen Einsatz verursacht (11). Beispielsweise beeinflusst der individuelle alltägliche Koffeinkonsum die ergogene und metabolische Wirksamkeit von Koffein beträchtlich (12, 15, 32). Die vergleichsweise geringe Probandenzahl und die im Untersuchungsdesign fehlende Kontrastierung zwischen koffeinnaiven und koffeingewohnten Spielern lassen folglich eine endgültige Beantwortung der im Titel gestellten Frage offen.

Schlussfolgerungen

Nennenswerte und allgemeingültige leistungssteigernde Effekte durch Koffein sind bei koordinativ und metabolisch anspruchsvoller Intervallbelastung in den Sportspielen bei Spielern beiderlei Geschlechts nicht zu erwarten. Eine Einsparung der Muskelglykogenvorräte erscheint angesichts der Aktivierung der Glykolyse als höchst unwahrscheinlich. Im Einzelfall (z.B. chronisch hypo- bzw. hyperaktivierte Spieler) sowie in Abhängigkeit vom alltäglichen Koffeinkonsum kann eine positive oder auch negative Leistungsbeeinflussung nicht ausgeschlossen werden.

Literatur

1. Anselme F, Collomp K, Mercier B, Ahmaïdi S, Prefaut Ch.: Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol* 65 (1992) 188-191.
2. Arogasami J, Yang HT, Winder WW: Effect of caffeine on glycogenolysis during exercise in endurance trained rats. *Med Sci Sports Exerc* 21 (1989) 173-177.
3. Borg GAV: Physical performance and perceived exertion. Gleerups, Lund 1962.
4. Butts NK, Crowell D: Effects of caffeine ingestion on cardiorespiratory endurance in men and women. *Res Quaterly Exerc Sport* 56 (1985) 301-305.
5. Chesley A, Howlett RA, Heigenhauser GJ, Hultman E, Spriet LL: Regulation of muscle glycogenolytic flux during intense aerobic exercise after caffeine ingestion. *Am J Physiol* 275 (1998) R596-R603.
6. Costill DL, Dalsky GP, Fink WJ: Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports* 10 (1978) 155-158.
7. Essig D, Costill DL, VanHandel PJ: Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int J Sports Med* 1 (1980) 86-90.
8. Ferrauti A, Weber K, Strüder HK: Metabolic and ergogenic effects of carbohydrate and caffeine beverages in tennis. *J Sports Med Phys Fitness* 37 (1997) 258-266.
9. Ferrauti A: Der Energiestoffwechsel im Tennis. Schriften der Deutschen Sporthochschule Köln, Bd. 43. Academia, St. Augustin 1999.
10. Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, Weber K: Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 85 (2001) 27-33.
11. Ferrauti A, Neumann G, Weber K, Keul J: Urine catecholamine concentrations and psychophysical stress in elite tennis under practice and tournament conditions. *J Sports Med Phys Fitness* 41 (2001) 269-274.
12. Friedholm BB: Adenosin actions and adenosin receptors after 1 week treatment with caffeine. *Acta Physiol Scand* 115 (1982) 283-286.
13. Gaesser GA, Rich RG: Influence of caffeine on blood lactate responses during incremental exercise. *Int J Sports Med* 6 (1985) 207-211.
14. Gotzmann A, Donike M: Quantitative caffeine determination by direct injection of urine, in: Donike M, Geyer H, Gotzmann A, Mareck-Engelke U, Rauth S: Proceedings of the 10th cologne workshop on dope analyses 7th to 12th june 1992, Sport und Buch Strauss Köln 1993, 281-284
15. Graham TE: Caffeine and exercise. *Metabolism, endurance and performance. Sports Med* 31 (2001) 785-807.
16. Graham TE, Helge JW, MacLean DA, Kiens B, Richter EA: Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J Physiol* 15 (2000) 837-847.
17. Graham TE, McLean C: Gender differences in the metabolic responses to caffeine, in: Tarnopolsky M (ed.): Gender differences in metabolism: practical and nutritional implications. CRC Press Boca Raton 1999, 301-327.
18. Graham TE, Spriet LL: Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 71 (1991) 2292-2298.
19. Graham TE, Spriet LL: Caffeine and exercise performance. *Gatorade Sports Science Exchange* 9 (1996) 60.
20. Hogervorst E, Riedel WJ, Kovacs E, Brouns F, Jolles J: Caffeine improves cognitive performance after strenuous physical exercise. *Int J Sports Med* 20 (1999) 354-361.
21. Ivy JL, Costill DL, Fink WJ: Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med Sci Sports* 11 (1979) 6-11.
22. Jackman M, Wendling P, Friars D, Graham TE: Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J Appl Physiol* 81 (1996) 1658-1663.
23. Kamimori GH, Penetra DM, Headley DB, Thorne DR, Otterstetter R, Belenky G: Effect of three caffeine doses on plasma catecholamines and alertness during prolonged wakefulness. *Eur J Clin Pharmacol* 56 (2000) 537-544.
24. Lindinger MI, Graham TE, Spriet LL: Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma [K⁺] in humans. *J Appl Physiol* 74 (1993) 1149-1155.
25. Lisson H: Analyse der Spielstruktur unterschiedlicher Leistungsklassen im Tennis-Einzel auf Sand durch systematische Spielerbeobachtung. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln 1996.
26. Nehlig A, Debry G: Caffeine and sports activity: A review. *Int J Sports Med* 15 (1994) 215-223.
27. Pasman WJ, VanBaak MA, Jeukendrup AE, DeHaan A: The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *Int J Sports Med* 16 (1995) 225-230.
28. Paton CD, Hopkins WG, Vollebregt L: Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 822-825.
29. Powers SK, Dodd S: Caffeine and endurance performance. *Sports Med* 2 (1985) 165-174.
30. Sasaki H, Takaoka I, Ishiko T: Effects of sucrose or caffeine ingestion on running performance and biochemical responses to endurance running. *Int J Sports Med* 8 (1987) 203-207.
31. Sinclair CJD, Geiger JD: Caffeine use in sports. *J Sports Med Phys Fitness* 40 (2000) 71-79.
32. VanSoeren MH, Sathasivam P, Spriet LL, Graham TE: Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and nonusers. *J Appl Physiol* 89 (1993) 805-812.
33. Vergauwen L, Brouns F, Hespel P: Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 1289-1295.
34. Volpert W: Ein sequentieller Auswertungsplan für zweifaktorielle Versuchspläne mit Meßwiederholung auf einem Faktor. *Sportarzt u. Sportmed.* 23 (1972) 43-49.

Korrespondenzadresse
PD Dr. Alexander Ferrauti
Deutsche Sporthochschule Köln
Institut für Sportspiele
Carl-Diem-Weg 6
50933 Köln
Fax: 0221-4995637
e-mail: FERRAUTI@dshs-koeln.de