

Reljic D^{1,2}, Jost J², Friedmann-Bette B¹

Einfluss verschiedener Getränke auf Ausdauerleistung und Stoffwechsel bei ambitionierten Freizeidläufern

Effects of Different Beverages on Endurance Performance and Metabolism in Ambitious Recreational Runners

¹Abteilung Innere Medizin VII, Sportmedizin, Medizinische Universitätsklinik Heidelberg

²Olympiastützpunkt Rhein-Neckar

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss der Sportgetränke Caps* (C; niedrig-glykämisch, Fruchtsüße/Weizendextrin), Gerolsteiner Sport* (G; niedrig-glykämisch, Fruchtsüße) und Powerade* (P; höher-glykämisch, Glukose/Maltodextrin), vergleichend zu Apfelsaftschorle (A) und Mineralwasser (W) auf die Laufzeit und verschiedene Stoffwechselfparameter während einer erschöpfenden Laufband-Dauerbelastung (Intensität: 90% der individuellen Laktatschwelle). 34 Freizeidläufer/innen erhielten 30 Minuten vor Beginn sowie in der 30. und 60. Belastungsminute im randomisierten Doppelblinddesign 250 ml eines der Testgetränke, wodurch folgende Kohlenhydrat (KH)-Gesamt mengen verabreicht wurden: C: 36 g, G: 31 g, P: 42 g und A: 51 g. Vor und während der Belastung wurden Glukose-, Laktat- und Ammoniakkonzentrationen aus Kapillarblut und der subjektive Anstrengungsgrad bestimmt. Mit C (79,7 ± 11,7 Min.) wurden im Vergleich zu W (72,1 ± 12,8 Min.; p < 0,01) und P (73,6 ± 18,1 Min.; p < 0,05) signifikant längere Laufzeiten erreicht. Die Blutglukosekonzentration war nach Aufnahme von C, G, P und A zu Belastungsbeginn sowie ab der 45. Belastungsminute signifikant höher als nach Zufuhr von W; zudem lag die Glukosekonzentration in der 60. Belastungsminute mit C signifikant höher als mit P und A (93,4 ± 11,4 vs. 88,4 ± 11,0 bzw. 87,8 ± 10,3 mg/dl; p < 0,05). Mit C zeigte sich im Belastungsverlauf eine signifikant niedrigere Ammoniakakkumulation sowie ein geringerer subjektiver Anstrengungsgrad als mit W, G und P. Somit ergaben sich Hinweise darauf, dass die Energiebereitstellung während einer erschöpfenden Ausdauerbelastung durch Zufuhr einer Kohlenhydratkombination aus Fruchtsüße und Weizendextrin optimiert werden kann.

Schlüsselwörter: Sportgetränke, Kohlenhydratzusammensetzung, Energiestoffwechsel, glykämischer Index; Ausdauerleistungsfähigkeit.

EINLEITUNG

Sportgetränke sollen für eine adäquate Versorgung mit Wasser, Elektrolyten und Energie im Rahmen der Sportaktivität sorgen (1). Die meisten kommerziell erhältlichen Produkte weisen einen KH-Gehalt von 4-8% auf. Höhere Konzentrationen liefern einerseits mehr Energie, verzögern aber auch die Magenentleerungsrate, was sich nachteilig auf die Flüssigkeitsversorgung auswirkt und unter Umständen gastrointestinale Beschwerden hervorrufen kann (8,25). Unter der Zielsetzung einer Optimierung der Energiebereitstellung wird der Fokus mittlerweile vor allem auf die spezifischen Eigenschaften der eingesetzten KH gerichtet. Eine wichtige Maßeinheit ist hierbei der glykämische Index (GI), der KH-haltige Nahrungs-

SUMMARY

The present study examined the effects of the sports drinks Caps* (C; low-glycemic, fruit sweetener/wheat dextrin), Gerolsteiner Sport* (G; low-glycemic, fruit sweetener) and Powerade* (P; higher-glycemic, glucose/maltodextrin) compared to an apple juice/mineral water mixture (A) and plain mineral water (W) on performance and metabolic responses during prolonged treadmill-running at 90% of individual lactate-threshold until exhaustion.

In a randomized double-blind design, 34 recreational runners received 250 ml of each beverage 30 minutes before the onset and after 30 and 60 minutes of exercise. Total-carbohydrate ingestions were: C: 36 g, G: 31 g, P: 42 g and A: 51 g, respectively. Capillary blood samples were obtained to determine blood glucose, lactate and ammonia concentrations before and during exercise and rates of perceived exertion were collected.

Ingestion of C (79.7 ± 11.7 min.) resulted in a significantly longer time to exhaustion compared to W (72.1 ± 12.8 min.; p < 0.01) and P (73.6 ± 18.1 min.; p < 0.05). After ingestion of C, G, P and A before the onset and after 45 minutes of exercise, blood glucose levels were significantly higher compared to W. After 60 minutes of exercise, glucose concentrations were significantly higher with C compared to P and A (93.4 ± 11.4 vs. 88.4 ± 11.0 vs. 87.8 ± 10.3 mg/dl; p < 0.05). Moreover, ingestion of C led to substantially lower ammonia values during exercise and subjects reported lower ratings of perceived exertion compared to W, G and P.

Apparently, the ingestion of a carbohydrate-combination consisting of fruit sweetener and wheat dextrin may optimize energy delivery during exhaustive endurance exercise.

Key Words: Sports drinks, carbohydrate composition, exercise metabolism, glycemic index, endurance capacity.

mittel in ihrer postprandialen Wirkung auf den Blutzuckerspiegel klassifiziert, wobei Dauer und Höhe des Blutzuckeranstieges nach Verzehr von 50 g KH in Bezug zu dem Referenzwert von reiner Glukose (GI: 100) gesetzt werden (14, 17).

Klassische Sportgetränke basieren i.d.R. auf hoch-glykämischen KH, wie Glukose oder Maltodextrinen (GI: 100). Der Konsum solcher Zuckerarten geht aufgrund des hohen Blutzuckeranstieges mit einer entsprechenden Insulinreaktion einher, was einen relativ schnellen Abfall des Blutzuckerspiegels zur Folge hat. Kuipers et al. (22) konnten in diesem Zusammenhang zeigen, dass die Zufuhr einer Glukoselösung 30 Minuten vor Beginn der Sportausübung das Auftreten einer Hypoglykämie im Belastungsverlauf begünstigt, was sich negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken kann. Neuere

Tabelle 1: Anthropometrische Daten, Leistungs- und Trainingsdaten des Probandenkollektivs.

	Alter	Größe	Gewicht	Herzvolumen	Leistung an individueller Laktatschwelle	Trainingserfahrung	wöchentl. Trainingsaufwand	
	[Jahre]	[cm]	[kg]	[ml/kg]	[m/s]	[Jahre]	[Std]	[km]
Frauen	26,6	171	61,0	11,1	3,07	10	7	65
n = 14	± 5,1	± 5,0	± 6,2	± 1,1	± 0,52	± 6	± 4	± 35
Männer	32,7	182	77,3	11,0	3,49	13	8	68
n = 20	± 9,0	± 6,0	± 8,9	± 1,9	± 0,57	± 10	± 5	± 36
Gesamt	30,2	177	70,6	11,1	3,32	12	7	66
n = 34	± 8,8	± 7,0	± 11,3	± 1,6	± 0,58	± 9	± 5	± 34

Generationen von Sportgetränken enthalten zunehmend auch niedrig-glykämische KH, die eine gleichmäßigere und länger anhaltende Energieabgabe bewirken und dazu beitragen sollen, die Ausdauerleistung länger aufrechtzuerhalten. Bisherige Studien haben überwiegend den Einfluss des GI von Vorbelastungs-Mahlzeiten auf die Leistungsfähigkeit untersucht (4, 12, 13, 21, 35, 36). Die Effektivität niedrig-glykämischer kommerzieller Sportgetränke, die sowohl vor, als auch wiederholt während einer Belastung verabreicht werden, wurde unseres Wissens nicht evaluiert. Mit dem Ziel, eine ausreichende und lang anhaltende Energiebereitstellung zu ermöglichen, werden verschiedene KH-Arten gezielt miteinander kombiniert bzw. auch innovative KH-Formen eingesetzt. Dazu zählen z.B. aus variierenden Anteilen von Glukose, Fruktose und Saccharose bestehende Fruchtsüßekompositionen oder Weizendextrin, ein aus Stärke gewonnenes KH, das im Unterschied zu Maltodextrin (2-20 Glukosemoleküle) aus wesentlich mehr Glukosebausteinen (<20), aufgebaut ist und somit erheblich langsamer aufgespalten wird (30). Unseres Wissens liegen zur Wirkweise dieser KH-Formen innerhalb eines Sportgetränks noch keine Daten vor.

In der vorliegenden Studie sollten die Effekte von zwei niedrig-glykämischen Sportgetränken, eines auf Fruchtsüße und Weizendextrin basierend, das andere nur Fruchtsüße enthaltend sowie die eines höher-glykämischen Sportgetränks auf die Belastungsdauer und verschiedene Stoffwechselfparameter während einer standardisierten Ausdauerbelastung untersucht und mit den Effekten von Wasser und Apfelsaftschorle verglichen werden. Hierzu absolvierten 34 ambitionierte Freizeitläufer/innen 5 Laufband-Dauerbelastungen bis zur subjektiven Erschöpfung mit einer 90% der individuellen Laktatschwelle entsprechenden Geschwindigkeit unter doppelblind-randomisierter Verabreichung eines der Getränke und Messung verschiedener Stoffwechselfparameter sowie Erfassung des subjektiven Anstrengungsgrades. Als Stoffwechselfparameter wurde neben Glukose und Laktat zusätzlich auch Ammoniak bestimmt, da dieser Parameter nicht nur wichtige Hinweise zur Glykogenverarmung während der Belastung liefern kann, sondern auch in direkten Zusammenhang mit peripherer und zentraler Ermüdung gebracht wird (27,37).

MATERIAL UND METHODE

Probanden

An der Studie nahmen 34 Probanden teil (14 Frauen, 20 Männer). Alle absolvierten ein regelmäßiges ambitioniertes Lauftraining und verfügten über Laufband-Erfahrung (Tab.1). Die Untersuchungen wurden nach den Richtlinien der Ethikkommission der Medizi-

nischen Fakultät Heidelberg durchgeführt. Die Untersuchungsteilnehmer/innen wurden über Inhalt, Ablauf und Risiken der Studie schriftlich und mündlich informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme.

Voruntersuchung

Alle Teilnehmer/innen unterzogen sich vor Studienbeginn einer sportmedizinischen Gesundheitsuntersuchung. Während der dabei durchgeführten stufenweise ansteigenden Laufbandergometrie (Anfangsgeschwindigkeit: 6km/h; Steigerung: 2km/h; Stufendauer: 3Min.; Laufband-Modell ELG 70, Woodway, Lörrach, Deutschland) wurde zur Bestimmung der individuellen Laktatschwelle, (Basislaktat + 1,5 mmol (28)) die Laktatkonzentration jeweils vor Belastungsbeginn sowie in 30-sekündigen Pausen nach Ende jeder Belastungsstufe im Kapillarblut des hyperämisierten Ohrläppchens mittels automatischem Messsystem (Laktatanalyzer EBIOplus, Eppendorf, Hamburg, Deutschland) enzymatisch-amperometrisch gemessen. Alle Probanden erhielten darüber hinaus einen standardisierten Ernährungsplan (55% KH, 25% Fett und 20% Eiweiß), der während der gesamten Studienteilnahme einzuhalten war. Die Compliance wurde mittels Protokoll und durch regelmäßige Nachfrage überprüft. Die zugeführten Nährstoffe lagen dabei innerhalb des für Sportler empfohlenen Niveaus (2) (KH: 6,1 ± 1,3g/kg; Fett: 1,3 ± 0,4g/kg; Eiweiß: 1,7 ± 0,4g/kg). Obwohl die KH-Zufuhr insgesamt im unteren Bereich der Empfehlung für Ausdauersportler lag, ist eine Glykogenverarmung unwahrscheinlich, da im Zeitraum der Studienteilnahme lediglich regenerative Trainingseinheiten erlaubt waren, die ebenfalls protokolliert wurden.

Testgetränke

- 1) Caps-Grapefruit® (C), SiSi-Werke GmbH.
- 2) Powerade-Grapefruit® (P), Coca Cola Erfrischungsgetränke AG.
- 3) Gerolsteiner Sport-Grapefruit® (G), Gerolsteiner Brunnen GmbH.
- 4) Apfelsaftschorle (A), Odenwald Quelle GmbH (60% Fruchtsaft (davon 57% Apfelsaft und 3% Zitronensaft) und 40% Mineralwasser.
- 5) natürliches Mineralwasser (W), Mineralbrunnen AG.

Die Getränke wurden gekühlt (etwa 8°C) in undurchsichtigen Plastikbechern im doppelblind-randomisierten Design gereicht. Aufgrund geschmacklicher Unterschiede war eine exakte Verblindung nur zwischen den Sportgetränken C, G und P (Grapefruitgeschmack), nicht jedoch zu A und W möglich. Auf Grundlage der enthaltenen KH-Arten ließen sich C, G und A als niedrig-glykämisch

und P als höher-glykämisch klassifizieren. Eine exakte GI-Angabe lag lediglich für C vor (GI:40), das aus den niedrig-glykämischen KH-Quellen Fruchtsüße (GI:34) und Weizendextrin (GI:25) zusammengesetzt ist. Da G ebenfalls auf Fruchtsüße basiert, kann von einem vergleichbaren GI wie C ausgegangen werden. Bezüglich A stellt der in der Literatur für Apfelsaft angegebene GI von 40 (14) eine Orientierung dar. P enthält die hoch-glykämischen KH Glukose (GI:100) und Maltodextrin (GI:100). Die genaue Zusammensetzung der Getränke ist in Tab.2 dargestellt.

Dauerbelastungstests

Eine Woche nach der Eingangsuntersuchung absolvierten die Probanden im Abstand von jeweils drei Tagen 5 Laufband-Dauerbelastungstests bis zur subjektiven Erschöpfung, bei einer Laufgeschwindigkeit, die mit 90% ihrer individuellen Laktatschwelle korrespondierte (im Mittel $2,99 \pm 0,52 \text{ m/s}$). Dabei wurden 30 Minuten vor Belastung sowie nach 30 und 60 Minuten Laufdauer jeweils 250 ml (insgesamt 750 ml) eines Testgetränks zugeführt.

Um zirkadiane Schwankungen zu vermeiden, wurden die Tests immer zur gleichen Uhrzeit durchgeführt. Die klimatischen Bedingungen waren konstant ($20\text{-}22^\circ \text{C}$ und $50\text{-}60\%$ Luftfeuchtigkeit).

Nach Ankunft der Probanden im Labor erfolgte zunächst eine Messung des Körpergewichts und der Blutzuckerkonzentration. Daraufhin wurden die ersten 250 ml des jeweiligen Testgetränks verabreicht. Nach einer 30-minütigen Ruhephase wurden Glukose und Laktat (Super GL ambulance Sport, Greiner Biochemica, Flacht, Deutschland) sowie Ammoniak (Ammonia Checker II, Menarini Diagnostics, Florenz, Italien) im Kapillarblut bestimmt. Anschließend erfolgte ein fünfminütiges Aufwärmen bei $5,0 \text{ km/h}$. Dann wurde mit dem Dauerbelastungstest begonnen. In 15-minütigen Abständen während der Belastung und bei Belastungsabbruch wurden der subjektive Anstrengungsgrad nach Noble et al. (26) erfragt und eine Kapillarblutprobe aus dem Ohrläppchen zur Bestimmung von Glukose und Laktat entnommen. Hierzu wurde das Laufband für ca. 30 Sekunden angehalten. Die Bestimmung von Ammoniak erfolgte in der 30. und 60. Minute sowie nach Abbruch der Belastung, ebenfalls im Kapillarblut. Nach Belastungsende wurde nochmals das Körpergewicht gemessen. Die Zeitpunkte der Getränke-Applikationen und der jeweiligen Blutabnahmen sind in Abb.1 dargestellt.

Tabelle 2: Zusammensetzung der Testgetränke je 100 ml (gemäß Hersteller- bzw. Literaturangaben).

	Caps®	Powerade®	Gerolsteiner Sport®	Apfelsaftschorle	Mineralwasser
Energie KJ (kcal)	88 (20,8)	101 (24)	80 (18,9)	119 (28)	---
Kohlenhydrate (g)	4,8	5,6	4,1	6,8	---
Eiweiß (g)	0,1	<0,1	<0,1	0,1	---
Fett (g)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	---
Natrium (mg)	40	k.A.	35	<100	178
Calcium (mg)	---	---	31,3	---	83,3
Magnesium (mg)	5	---	9,7	---	9,1
KH-Quelle (Gi)	Fruchtsüße (34) Weizendextrin (25)	Glukose (100) Maltodextrin (100)	Fruchtsüße (k.A.)	Fruktose (19)	---

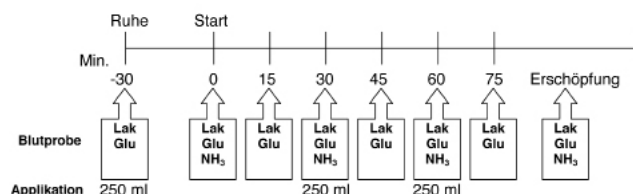


Abbildung 1: Schema des Versuchsdesigns.

Lak: Laktat; Glu: Glukose; NH₃: Ammoniak.

Statistik

Die Ergebnisse sind als Mittelwerte \pm Standardabweichung (SD) dargestellt.

Zur Ermittlung statistischer Unterschiede wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) angewandt. Wiederholt gemessene Parameter wurden über eine zweifaktorielle ANOVA (Zeit und Behandlung=Getränk) berechnet. Einmalig pro Belastung erhobene Daten (z.B. Abbruchzeit) wurden mittels einfaktorieller ANOVA gerechnet. Ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Messpunkten, wurde für den Mittelwertvergleich der Holm-Sidak-Test gewählt.

Alle Berechnungen wurden mit dem Softwareprogramm SIGMASTAT 3.5 durchgeführt (Jandel Scientific, San Rafael, USA). Als statistische Signifikanzgrenze wurde ein $p < 0,05$ festgelegt.

ERGEBNISSE

Laufdauer (Abb. 2A)

Mit C ($79,7 \pm 11,7$ Min.) wurde im Mittel eine signifikant längere Laufdauer als mit W ($72,1 \pm 12,8$ Min.; $p < 0,01$) und P ($73,6 \pm 12,7$ Min.; $p < 0,05$) erreicht. Darüber hinaus ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (G: $75,0 \pm 14,0$ Min. und A: $75,9 \pm 12,9$ Min.). Ein Effekt der zeitlichen Reihenfolge der Testläufe auf die Laufdauer wurde nicht festgestellt (Test 1: $75,9 \pm 13,6$ Min.; Test 2: $75,8 \pm 12,8$ Min.; Test 3: $76,4 \pm 13,4$ Min.; Test 4: $74,9 \pm 12,9$ Min.; Test 5: $75,1 \pm 11,9$ Min.).

Subjektives Erschöpfungsempfinden (Abb. 2B)

Mit C lag der subjektive Anstrengungsgrad ab der 30. Belastungsminute bis zum Belastungsende signifikant niedriger als mit W.

Mit C zeigte sich darüber hinaus in der 45. und 60. Belastungsminute ein signifikant geringerer subjektiver Anstrengungsgrad als mit P und in der 60. Minute auch im Vergleich zu G. Mit Ausnahme von A, unter dessen Anwendung der subjektive Anstrengungsgrad in der 60. Belastungsminute signifikant niedriger lag als mit W, ergaben sich beim Vergleich der anderen Getränke untereinander keine signifikanten Unterschiede.

Blutglukose und Laktat (Abb. 3)

Alle KH-haltigen Getränke führten nach erster Applikation 30 Minuten vor Belastungsbeginn zu einem signifikanten Anstieg der Blutglukosekonzentration.

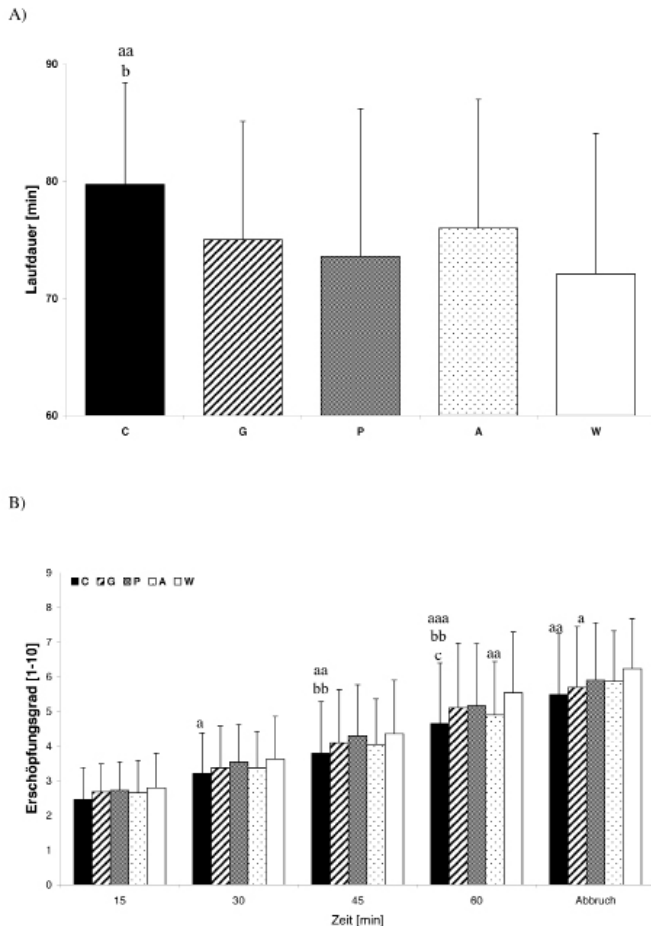


Abbildung 2: Laufdauer (A) und subjektiver Erschöpfungsgrad (B) unter Zufuhr von C (Caps: Fruchtsüße/Weizendextrin, niedrig-glykämisch), G (Gerolsteiner; Fruchtsüße, niedrig-glykämisch), P (Powerade, Dextrose/Maltodextrin, hoch-glykämisch), A (Apfelsaftschorle, niedrig-glykämisch) und W (Wasser). Abgebildet sind Mittelwerte \pm SD. Signifikante Unterschiede: a = vs. W; b = vs. P; c = vs. G; d = vs. A. 1 Symbol: $p < 0,05$; 2 Symbole: $p < 0,01$; 3 Symbole: $p < 0,001$.

tration (um $18,3 \pm 11,4$ mg/dl) auf $112,0 \pm 15,3$ mg/dl ($p < 0,001$). Nach Zufuhr von P ($116,3 \pm 13,7$ mg/dl) wurde ein signifikant höherer Blutzucker gemessen als nach C ($109,2 \pm 14,4$ mg/dl; $p < 0,01$) und G ($110,7 \pm 18,1$ mg/dl; $p < 0,05$). Nach 15 Minuten Belastung wurde in allen Versuchen ein Abfall der Blutglukosewerte um im Mittel $38,0 \pm 20,9$ mg/dl auf $74,1 \pm 14,2$ mg/dl ($p < 0,001$) festgestellt. Bis zur 30. Belastungsminute stabilisierten sich die Glukosewerte, wobei unter Anwendung der KH-haltigen Getränke keine signifikanten Unterschiede zu Wasser gemessen wurden. Nach der 2. Applikation der KH-haltigen Getränke stieg die Blutglukose wieder signifikant auf ein vergleichbares Niveau (im Mittel $90,8 \pm 11,5$ mg/dl; $p < 0,001$) an, das signifikant über den mit W beobachteten Werten lag. Zwischen den einzelnen KH-haltigen Getränken ergab sich lediglich ein signifikanter Unterschied in der 60. Minute, als mit C eine signifikant höhere Glukosekonzentration als mit P und A gemessen wurde (C: $93,4 \pm 11,4$ vs. A: $87,8 \pm 10,3$ und P: $88,4 \pm 11,0$ mmol/L; $p < 0,05$).

Die Laktatkonzentration stieg bei allen Testgetränken bis zur 15. Belastungsminute signifikant (im Mittel um $1,0 \pm 0,8$ mmol/L) auf $2,3 \pm 0,7$ mmol/L an ($p < 0,001$). Im weiteren Belastungsverlauf stellte sich ein Steady-State ein. Bei Belastungsabbruch wurde ein

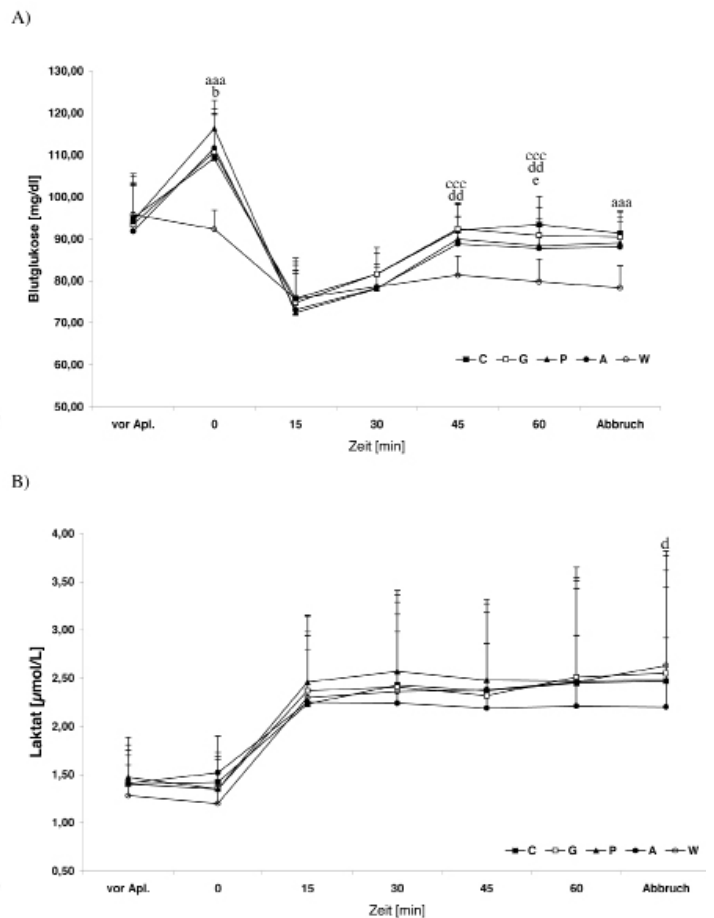


Abbildung 3: Kapilläre Glukose- (A) und Laktatkonzentration (B) während der Dauerlaufbelastung unter Zufuhr von C (Caps: Fruchtsüße/Weizendextrin, niedrig-glykämisch), G (Gerolsteiner; Fruchtsüße, niedrig-glykämisch), P (Powerade, Dextrose/Maltodextrin, hoch-glykämisch), A (Apfelsaftschorle, niedrig-glykämisch) und W (Wasser). Abgebildet sind Mittelwerte \pm SD. Signifikante Unterschiede: a = KH-Getränke vs. W; b = P vs. C+G; c = C, P, G vs. W; d = A vs. W; e = C vs. P+A. 1 Symbol: $p < 0,05$; 2 Symbole: $p < 0,01$; 3 Symbole: $p < 0,001$.

statistischer Unterschied zwischen A und W beobachtet ($2,2 \pm 0,7$ vs. $2,6 \pm 1,2$ mmol/L; $p < 0,05$).

Ammoniak (Abb. 4)

Die Ammoniakkonzentration war bei allen Getränken zu jedem Messzeitpunkt gegenüber dem vorherigen signifikant angestiegen ($p < 0,001$). In der 30. Minute lagen die Werte mit C (54 ± 22 μ mol/L) signifikant niedriger als mit W (64 ± 23 μ mol/L; $p < 0,01$) und P (58 ± 22 μ mol/L; $p < 0,05$). In der 60. Belastungsminute wurden mit C im Vergleich zu A, P, G (67 ± 27 vs. 75 ± 29 ; 73 ± 29 ; 73 ± 20 μ mol/L; $p < 0,05$) und W (80 ± 3 μ mol/L; $p < 0,001$) signifikant geringere NH_3 -Konzentrationen gemessen. Bei Belastungsabbruch unterschieden sich die unter C bestimmten NH_3 -Werte lediglich signifikant von W (78 ± 30 vs. 88 ± 36 μ mol/L; $p < 0,05$).

Körpergewicht

Das Körpergewicht verringerte sich nach den Dauerbelastungen signifikant (im Mittel: $0,9 \pm 0,5$ kg). Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testgetränken festgestellt werden.

DISKUSSION

Der Konsum eines auf der Kombination von zwei niedrig-glykämischen KH-Quellen (Fruchtsüße und Weizendextrin) basierenden Sportgetränks vor und während einer erschöpfenden Ausdauerbelastung kann positive Auswirkungen auf die Ausdauerleistung ambitionierter Freizeitläufer haben. Das zeigen die nach Zufuhr dieses Sportgetränks im Vergleich zu Mineralwasser um $7,7 \pm 11,8$ Min. ($9,1 \pm 13,3\%$; $p < 0,01$) und zu einem höher-glykämischen Sportgetränk um $5,8 \pm 10,8$ Min. ($7,2 \pm 12,4\%$; $p < 0,05$) signifikant längere Laufdauer sowie der signifikant geringere subjektive Anstrengungsgrad nach 30 und 60 Minuten Belastung. Gleichzeitig weisen signifikant niedrigere kapilläre Ammoniakkonzentrationen nach 30 und 60 Minuten Belastung und eine signifikant höhere Blutglukosekonzentration nach 60 minütiger Belastung auf eine verbesserte Energiebereitstellung nach Konsum dieses Sportgetränks im Vergleich zu Mineralwasser und dem höher-glykämischen Getränk hin. Verglichen zu den Messwerten nach Aufnahme von Apfelsaftschorle oder des anderen, nur auf Fruchtsüße basierenden niedrig-glykämischen Sportgetränks, ergaben sich, abgesehen von der signifikant niedrigeren Ammoniakkonzentration nach 60 Minuten Belastungsdauer, keine Unterschiede. Allerdings unterschieden sich die Effekte von Apfelsaftschorle sowie des anderen niedrig-glykämischen Sportgetränks auf die genannten Parameter nicht von denen, die durch alleiniges Trinken von Wasser erzielt wurden.

Der Befund, dass der Konsum der KH-haltigen Getränke – mit Ausnahme von C – lediglich zu einer tendenziellen, nicht aber zu einer statistisch signifikant besseren Leistung als W führte, ist überraschend und steht im Widerspruch zu der Mehrzahl vergangener Studien (6). Hierfür gibt es im Wesentlichen zwei Erklärungsmöglichkeiten. In bisherigen Untersuchungen wurden die Versuchsteilnehmer vorwiegend nach längerer Nahrungskarenz (häufig mindestens 12-16 Stunden) oder gar glykogenepletiert getestet (6,33). Dadurch lassen sich Benefits durch KH-Gaben zwar leichter nachweisen, allerdings ist die praktische Relevanz einer solchen Vorgehensweise eher fragwürdig, da Wettkämpfe oder längere, intensive Trainingseinheiten normalerweise so nicht bestritten werden. In der vorliegenden Untersuchung sollte eine praxisrelevante Situation getestet werden und daher war es gewünscht, dass die Probanden mittels standardisiertem Ernährungsplan und Kontrolle der körperlichen Aktivität über ausreichend gefüllte Glykogenspeicher verfügten. In welchem Maße aber Personen, deren Glykogenspeicherstatus nicht beeinträchtigt ist, von der Zufuhr KH-haltiger Getränke während körperlicher Belastung profitieren, kann bisher noch nicht sicher beantwortet werden (6,33). Weiterhin wurde in vergangenen Studien meistens eine wesentlich höhere KH-Gesamtmenge verabreicht (häufig > 45 g/Stunde), als in unserer Untersuchung (im Mittel 27 g/Stunde). Nach Empfehlungen des ASCM (2) sollten während der Belastung 30-60 g KH/Stunde in Aufnahmepausen von 15-20 Minuten zugeführt werden. Damit lag die KH-Gesamtzufuhr pro Stunde in der vorliegenden Studie in einem sehr niedrigen Bereich und die Abstände zwischen den einzelnen Applikationen waren verhältnismäßig lang. Eine insgesamt höhere KH-Zufuhr und kürzere Applikationsintervalle hätten daher möglicherweise zu deutlicheren Unterschieden zwischen den KH-haltigen Getränken und W geführt.

Eine Verbesserung der Ausdauerleistung über KH-Gaben wird insbesondere mit der Aufrechterhaltung der Blutzuckerkonzentration und Unterstützung der Glukoseoxidation in den späteren

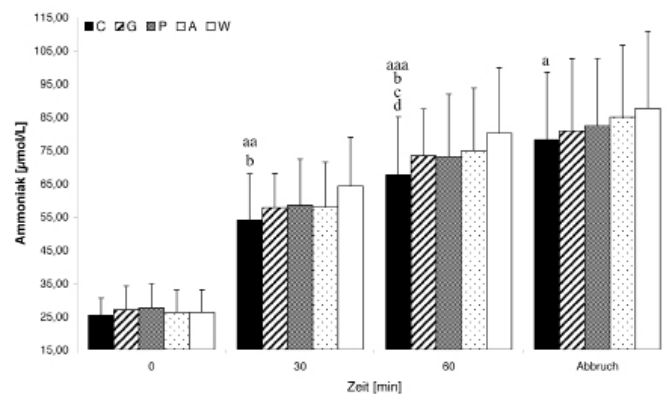


Abbildung 4: Kapilläre Ammoniakkonzentration während der Dauerlaufbelastung unter Zufuhr von C (Caps: Fruchtsüße/Weizendextrin, niedrig-glykämisch), G (Gerolsteiner; Fruchtsüße, niedrig-glykämisch), P (Powerade, Dextrose/Maltodextrin, hoch-glykämisch), A (Apfelsaftschorle, niedrig-glykämisch) und W (Wasser). Abgebildet sind Mittelwerte \pm SD. Signifikante Unterschiede: a = vs. W; b = vs. P; c = vs. G; d = vs. A. 1 Symbol: $p < 0,05$; 2 Symbole: $p < 0,01$; 3 Symbole: $p < 0,001$.

Belastungsphasen (3,5,7,33) sowie mit einer Einsparung von Muskelglykogen (11,33) erklärt. Der auffällige Abfall der Blutzuckerkonzentration, der sich bei allen Getränken in den ersten 15 Minuten zeigte, wurde bereits von mehreren anderen Autoren (5,22,32) in dieser Form beschrieben und wird in erster Linie auf die gesteigerte Glukoseaufnahme der aktiven Muskulatur und dem daraus resultierenden Ungleichgewicht zwischen Glukosebedarf und Verfügbarkeit zurückgeführt. Bei den KH-haltigen Getränken wurde dieser Effekt vermutlich zusätzlich über die Insulinfreisetzung verstärkt, welches ebenfalls die muskuläre Glukoseaufnahme fördert und gleichzeitig die hepatische Glukoseabgabe hemmt. Unter Belastung freigesetzte Katecholamine senken die Insulinsekretion indessen wieder und stimulieren die Glukoseabgabe aus der Leber (5), wodurch sich der folgende Blutzuckeranstieg bis zur 30. Belastungsminute erklären lässt.

Im weiteren Belastungsverlauf wurde bei Zufuhr der Sportgetränke und Apfelsaftschorle erst in der 45. Belastungsminute bzw. nach der zweiten Getränkeapplikation (30. Belastungsminute) eine signifikant höhere Blutglukosekonzentration als nach Wasseraufnahme beobachtet. Daraus kann geschlossen werden, dass die einstündige Pause zwischen der Getränke-Applikation vor Belastungsbeginn und der ersten Getränkeaufnahme während Belastung zu lang war. Die in der 60. Belastungsminute signifikant höhere Blutglukosekonzentration mit C gegenüber P und A ($p < 0,05$) weist darauf hin, dass dieses zwei niedrig-glykämische KH-Quellen enthaltende Getränk bei länger dauernder Belastung gegenüber dem höher-glykämischen Getränk und Apfelsaftschorle Vorteile in der Aufrechterhaltung der Blutzuckerkonzentration haben könnte.

Weiterhin deuten die signifikant geringeren Ammoniakkonzentrationen bei C auf einen verringerten Glykogenverbrauch hin. Es ist gut belegt, dass eine gesteigerte Stoffwechselung von Aminosäuren während einer Dauerbelastung bei zunehmender Erschöpfung der Glykogenspeicher zu einer signifikanten Ammoniakakkumulation führt (10,15,23,31,37). Snow et al. (31) konnten zeigen, dass die Zufuhr einer KH-Elektrolyt-Lösung während einer 120-minütigen Belastung zu einer deutlich geringeren Ammoniakbildung führte, als ein Placebo und beobachteten dabei vergleich-

bare NH_3 -Konzentrationen wie in der vorliegenden Studie. Es ist ferner bekannt, dass die Akkumulation von Ammoniak eine wichtige Rolle in der Entstehung von peripherer und zentraler Ermüdung spielen kann (27). Bei den männlichen Probanden wurden im Mittel insgesamt höhere NH_3 -Konzentrationen gemessen als bei den Frauen, es konnten jedoch bei keinem Testgetränk geschlechtsbezogene Unterschiede im Verhalten dieses Parameters während dem Belastungsverlauf festgestellt werden. Für alle anderen Parameter gab es keinerlei geschlechtsspezifische Unterschiede (Ergebnisse nicht dargestellt).

Das im Mittel um fast 1 kg reduzierte Körpergewicht nach der Belastung zeigt, dass das zugeführte Flüssigkeitsvolumen von insgesamt 750 ml bzw. 500 ml/Stunde nicht ausreichend war, um die schweißbedingten Flüssigkeitsverluste während der Dauerlaufbelastung ausreichend zu kompensieren. Aufgrund des praxisnahen Studiendesigns mit Standardisierung des verabreichten Volumens wurde mit C insgesamt weniger KH und Energie ($0,52 \pm 0,1$ g/kg bzw. 156 kcal) zugeführt als mit P ($0,61 \pm 0,1$ g/kg; 180 kcal) und A ($0,75 \pm 0,1$ g/kg; 210 kcal) sowie geringfügig mehr als mit G ($0,44 \pm 0,1$ g/kg; 142 kcal). Damit ist die Vergleichbarkeit der Effekte zwar eingeschränkt, mit Sicherheit kann die signifikant längere Laufdauer mit C verglichen zu P aber nicht durch eine größere zugeführte KH- bzw. Energiemenge erklärt werden. Es ist denkbar, dass die spezifische Kombination der KH-Quellen Fruchtsüße und Weizendextrin eine bessere KH-Verfügbarkeit in der späteren Belastungsphase bewirkt. Einige Arbeitsgruppen konnten in diesem Zusammenhang zeigen, dass die Kombination bestimmter KH die maximale KH-Absorption begünstigen kann, da verschiedene KH-Arten über unterschiedliche intestinale Transporter absorbiert werden. Dadurch lässt sich anscheinend die KH-Oxidation steigern (9, 18, 19, 20, 34). Dieser Effekt konnte bisher allerdings nur dann beobachtet werden, wenn verhältnismäßig hohe KH-Mengen (mindestens 90 g/Stunde) verabreicht wurden (16).

Zusammenfassend kann die Zufuhr eines auf einer Kombination von zwei niedrig-glykämischen KH-Quellen (Weizendextrin und Fruchtsüße) basierenden Sportgetränks die Leistungsfähigkeit ambitionierter Freizeitläufer/innen während einer erschöpfenden Dauerlaufbelastung offenbar günstig beeinflussen – wahrscheinlich aufgrund einer effizienteren Energiebereitstellung als zum Beispiel mit Wasser oder einem hoch-glykämischen Getränk. Ob bzw. in welchen Belastungssituationen Sportlern die Zufuhr eines solchen Getränks anstelle oder in Kombination mit klassischen Sportgetränken empfohlen werden kann, sollte in weiteren Studien untersucht werden.

Danksagung

Die Studie wurde von den SiSi-Werken GmbH, Deutschland unterstützt. Die Autoren bedanken sich bei Frau Dr. Ulrike Mehnert für die Durchführung der sportmedizinischen Gesundheitsuntersuchung und bei Hanna Jochum für die Erstellung der Ernährungspläne und die Auswertung der Ernährungsprotokolle.

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

LITERATUR

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE: Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 556-572.
2. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE: Joint Position Statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 41 (2009) 709-731.
3. ARKINSTALL MJ, BRUCE CB, NIKOLOPOULOS V, ET AL.: Effect of carbohydrate ingestion on metabolism during running and cycling. *J Appl Physiol* 91 (2001) 2125-2134.
4. BURKE LM, COLLIER GR, HARGREAVES M: Glycemic index - a new tool in sports nutrition? *Int J Sport Nutr* 8 (1998) 401-415.
5. COGGAN AR, SWANSON SC: Nutritional manipulations before and during endurance exercise: effects on performance. *Med Sci Sports Exerc* 24 (1992) 331-335.
6. COOMBS JS, HAMILTON KL: The effectiveness of commercially available sports drinks. *Sports Med* 29 (2000) 181-209.
7. COYLE EF, MONTAIN SJ: Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 24 (1992) 324-330.
8. COYLE EF, MONTAIN SJ: Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: are there trade-offs? *Med Sci Sports Exerc* 24 (1992) 671-678.
9. CURRELL K, JEUKENDRUP AE: Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc* 40 (2008) 275-281.
10. CZARNOWSKI D, LANGFORT J, PILIS W, ET AL.: Effect of a low-carbohydrate diet on plasma and sweat ammonia concentrations during prolonged nonexhausting exercise. *Eur J Appl Physiol* 70 (1995) 70-74.
11. DEBOCK K, DERAVE W, RAMACKERS EA, ET AL.: Fiber type-specific muscle glycogen sparing due to carbohydrate intake before and during exercise. *J Appl Physiol* 102 (2007) 183-188.
12. DEMARCO HM, SUCHER KP, CISAR CJ, ET AL.: Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 164-170.
13. FEBBRAIO MA, KEENAN J, ANGUS DJ, ET AL.: Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *J Appl Physiol* 89 (2000) 1845-1851.
14. FOSTER-POWELL K, HOLT SHA, BRAND-MILLER JC: International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am Clin Nutr* 76 (2002) 5-56.
15. GREENHAFF PL, LEIPER JB, BALL D, MAUGHAN RJ: The influence of dietary manipulation on plasma ammonia accumulation during incremental exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 63 (1991) 338-344.
16. HULSTON CJ, WALLIS GA, JEUKENDRUP AE: Exogenous CHO oxidation with glucose plus fructose intake during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 41 (2009) 357-363.
17. JENKINS DJA, THOMAS DM, WOLEVER MS, ET AL.: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34 (1981) 362-366.
18. JENTJENS RL, MOSELEY L, WARING RH, ET AL.: Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J Appl Physiol* 96 (2004) 1277-1284.
19. JENTJENS RL, VENABLES MC, JEUKENDRUP AE: Oxidation of exogenous glucose, sucrose and maltose during prolonged cycling exercise. *J Appl Physiol* 96 (2004) 1285-1291.
20. JENTJENS RL, UNDERWOOD K, ACHTEN J, ET AL.: Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J Appl Physiol* 100 (2006) 807-816.
21. KIRWAN JP, O'GORMAN D, EVANS WJ: A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *J Appl Physiol* 84 (1998) 53-59.
22. KUIPERS H, FRANSEN EJ, KEIZER HA: Pre-exercise ingestion of carbohydrate and transient hypoglycemia during exercise. *Int J Sports Med* 20 (1999) 227-231.

23. MACLEAN DA, SPRIET LL, HULTMAN E, GRAHAM TE: Plasma and muscle amino acid and ammonia responses during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol* 70 (1991) 2095-2103.
24. MOORE LJ, MIDGLEY AW, THOMAS G, ET AL.: The effects of low- and high-glycemic index meals on time trial performance. *Int J Sports Physiol Perfrom* 4 (2009) 331-344.
25. MURRAY R, BARTOLLI W, STOFAN J, ET AL.: A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks. *Int J Sports Nutr* 9 (1999) 263-274.
26. NOBLE BJ, BORG GAV, JACOBS, I, ET AL.: A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 15 (1983) 523-528.
27. NYBO L, DAALSGRAD MK, STENBERG A, ET AL.: Cerebral ammonia uptake and accumulation during prolonged exercise in humans. *J Physiol* 563 (2005) 285-290.
28. RÖCKER K, SCHOTTE O, NIESS A, ET AL.: Laufbandtestdaten und Wettkampfpagnosen für den Langstreckenlauf. *Dtsch Z Sportmed* 48 (1997) 315-323.
29. SHI X, SUMMERS RW, SCHEDL HP, ET AL.: Effects of carbohydrate type and concentration and solution osmolality on water absorption. *Med Sci Sports Exerc* 27 (1995) 1607-1615.
30. SLAVIN JL, SAVARINO V, PARDES-DIAZ A, FOTOPoulos G: A review of the role of soluble fiber in health with specific reference to wheat dextrin. *Int J Med Res* 37 (2009) 1-17.
31. SNOW RJ, CAREY MF, STATHIS CG, ET AL.: Effect of carbohydrate ingestion on ammonia metabolism during exercise in humans. *J Appl Physiol* 88 (2000) 1576-1580.
32. TOKMAKIDIS SP, VOLAKLIS KA: Pre-exercise glucose ingestion at different time periods and blood glucose concentration during exercise. *Int J Sports Med* 21 (2000) 453-457.
33. TSINTZAS OK, WILLIAMS C: Human muscle glycogen metabolism during exercise. Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Med* 25 (1998) 7-23.
34. WALLIS GA, ROWLANDS DS, SHAW C, ET AL.: Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 426-432.
35. WALTON P, RHODES EC: Glycaemic index and optimal performance. *Sports Med* 23 (1997) 164-172.
36. WEE SL, WILLIAMS C, GRAY S, ET AL.: Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 393-399.
37. YUAN Y, CHAN KM: A review of the literature on the application of blood ammonia measurement in sports science. *RQES* 71 (2000) 145-151.

Korrespondenzadresse:**Dejan Reljic (M.A.)****Medizinische Universitätsklinik Heidelberg****Abteilung Innere Medizin VII: Sportmedizin****Im Neuenheimer Feld 710****69120 Heidelberg****E-Mail: dejan.reljic@med.uni-heidelberg.de**