

# EPOC



Wie relevant ist der Nachbrenneffekt für den Energieumsatz?

Teil 1

**Der sogenannte „Nachbrenneffekt“ wird international in der Wissenschaft EPOC genannt – Englisch: excess post exercise oxygen consumption. EPOC kann als Sauerstoffmehrverbrauch nach der Trainingsbelastung gemessen werden. Wie beurteilt die Wissenschaft EPOC und dessen Bedeutung für den menschlichen Energiebedarf? Prof. Dr. Theodor Stemper prüft für F&G die Relevanz von EPOC für die Trainingswissenschaft.**

Wenn es um die Frage des Kalorienverbrauchs – bzw. spiegelbildlich dazu um die Frage des Gesamtenergiebedarfs (GE) pro Tag – geht, werden in der Regel vier Möglichkeiten genannt (vgl. F&G 3/2015):

- 1. Grundumsatz (GU)**, gemessen unter definierten Ruhebedingungen. Der GU ist zumeist für 50–75% des GE verantwortlich.
- 2. Aktivitätumsatz (AU)**, d.h. der über den GU hinausgehende Arbeits- bzw. Leistungsumsatz, mit bewegungsabhängiger Thermogenese (Wärmebildung), je nach Umfang und Intensität der Aktivität für ca. 15–30% des GE verantwortlich (bei umfangreichen und (hoch-) intensiven Belastungen auch bis zu 50%).
- 3. Nahrungsinduzierte Thermogenese (NT)**, je nach Nährstoffzufuhr verantwortlich für ca. 5–10% des GE und

- 4. Adaptative Thermogenese (AT)**, vor allem zur Wärme-, Kälte- oder Stressregulation, i.d.R. aber nur zu geringen Anteilen relevant für den GE.

Damit ergibt sich als grundlegende Summenformel für den Gesamtenergieumsatz (GE):  $GE = GU + AU + NT + AT$

Unumstritten sind Grundumsatz (GU) und Arbeits-(Leistungs-) Umsatz (AU) die eigentlichen „Treiber“ und hauptverantwortlich für den Gesamtenergieverbrauch (GE). Sie stehen daher auch im Zentrum der Trainingsberatung, wenn es um Gewichtsregulation geht. Möglichst effektive, kalorienverbrauchende Alltags- und Sportaktivitäten werden empfohlen. Zusätzlich wird eine Erhöhung des Grund-/Ruheumsatzes durch Vermehrung der Muskelmasse, dieses besonders bedeutsamen „Kalorien-Verbrauchers“, durch intensives Muskeltraining angestrebt.

## Bedeutung von EPOC für den Gesamtumsatz

Neben GU und AU wird aber oft auch der sogenannte „Nachbrenneffekt“ genannt. Wie relevant für den Gesamtumsatz (GE) ist aber eigentlich dieser „Nachbrenneffekt“, der auf die Trainingsbelastungen, also den AU folgt, und der sich als Sauerstoffmehrverbrauch nach Belastung messen lässt (englisch: excess post exercise oxygen consumption – daher EPOC; vgl. zusammenfassend dazu besonders schon Gaesser & Brooks, 1984)?

EPOC – ein Mehrverbrauch, der entsteht, da die „Störung der Homöostase (Fließgleichgewicht des Stoffwechsels)“ oder „Irritation der Physiologie“ (Mann et al., 2014), die durch die Trainingsbelastung hervorgerufen wird, auch nach Belastung noch eine Weile anhält. Der Nachbrenneffekt hält so lange an, bis alle Systeme ihren Ausgangswert wieder erreicht haben und z.B. Laktat

beseitigt, die Körpertemperatur normalisiert und die Energiespeicher wieder aufgefüllt worden sind.

Für den Trainierenden ist die EPOC-Phase vor allem anfangs übrigens subjektiv gut zu spüren, da Atmung und Pulswerte über den Ausgangswert hinaus erhöht sind und auch die Wärmeregulation und eine „innere Unruhe“ noch eine Weile andauern. Später dagegen, auch wenn dann ggf. immer noch etwas EPOC zu messen ist, wird das kaum noch subjektiv wahrgenommen.

Für EPOC lässt sich der Energieverbrauch im Übrigen dadurch abschätzen, dass *pro Liter Sauerstoffmeherverbrauch energetisch mit 20 kJ bzw. ca. 5 kcal* gerechnet wird. Somit lässt sich aus der verbrauchten Sauerstoffmenge auch der Kalorienverbrauch leicht errechnen.

Wenn man gleichzeitig dann auch noch den sog. RQ (respiratorischer Quotient; englisch RR, respiratory rate) bestimmt hat, lässt sich darüber sogar auch noch auf die anteiligen Kohlenhydrat- (Glucose) bzw. Fettkalorien schließen: Der RQ wird so interpretiert, dass bei einem Wert von 0,7 Fettstoffwechsel und bei einem Wert von 1,0 Kohlenhydratstoffwechsel vorliegt – und in den üblichen Zwischenberei-

chen entsprechende Anteile der beiden Möglichkeiten (der Eiweißstoffwechsel wird hierbei als wenig relevant erachtet und daher nicht explizit berücksichtigt).

### Realistische Einschätzung von EPOC

In der F&G wurde von uns verschiedentlich schon ausgeführt, dass der Mehrverbrauch i.S. von EPOC vor allem nach längeren und intensiven Trainingseinheiten in den folgenden 24 Stunden im besten Fall durchaus mehr als 100 kcal betragen kann – ein Wert, der auf lange Sicht auch durchaus relevant für die Regulation des Körpergewichts wäre.

Allerdings gab es in der Vergangenheit auch Publikationen, die diese genannten Werte in Frage stellten:

Einerseits, weil der über EPOC kalkulierte Energieverbrauch überschätzt sei. Ein Teil des Kalorienverbrauchs, der über EPOC errechnet wird, etwa in Höhe von i.d.R. ca. 10–20% (maximal sogar 42%), müsste eher dem Belastungsumsatz zugerechnet werden (Baum & Schuster, 2008), da er zum Ausgleich des initialen anaerob-alkalischen Verbrauchs von Kreatinphosphat (Krp oder CP) diene.



# FREI

Flexible Zirkellösungen individuell nach Ihren Anforderungen!

- Betreutes Gruppentraining – effizient für Ihren Personaleinsatz.
- Kombinationsgeräte – ermöglichen Ihnen den Zirkel auf kleinster Fläche.
- Ganzkörpertraining in nur 30 min – intelligentes Zeitmanagement für Ihre Patienten.
- Einfache Bedienung über großen Touch Screen – gut lesbare Schrift, Bilder, Übungsvideos.
- Automatische Einstellung der Geräte – Fehlbedienung wird vermieden.
- Keine Gewichtsplatten, die Bewegung kann an beliebiger Stelle beendet werden – keine Verletzungsgefahr.
- Alle Geräte sind Medizinprodukte.

**PROFESSIONELLES ZIRKELKONZEPT  
MIT FACTUM NOVUS II  
TEST- UND TRAININGSGERÄTEN**

FREI AG AKTIVE REHA-SYSTEME

Am Fischerrain 8 | 79199 Kirchzarten | Tel. 0 76 61 / 93 36 0  
info@frei-ag.de | www.frei-ag.de

Ansprechpartner im Norden Deutschlands:

FREI NORD | Tel. 0 40 / 890 61 63 | info@frei-nord.de

Andererseits, weil viele in der Literatur zu findende Werte tatsächlich oft auch deutlich geringer ausfallen als die z.T. noch deutlich höheren Werte, wie die oben genannten 100 kcal, die vor allem am Ende des letzten Jahrhunderts optimistisch vermutet worden waren. In einigen Studien werden lediglich nur 15–25 kcal für EPOC genannt (vgl. im Überblick dazu z.B. Baum & Schuster, 2008).

Und nicht zuletzt wird im Zusammenhang mit EPOC dann auch noch angeführt, dass effektive Werte bzgl. EPOC eine (sehr) hohe Leistungsfähigkeit bzw. einen guten Trainingszustand voraussetzten, weil erst damit auch die erforderlichen längeren und intensiven Trainingseinheiten tatsächlich auch zu bewältigen seien (u.a. LaForgia et al., 2006).

**Folglich stellt sich die grundlegende Frage:**

**Ist EPOC im Zusammenhang mit dem Gesamtenergiebedarf (GE) dann überhaupt eine relevante Größe?**

Diese Frage soll im Folgenden vor allem auf der Basis neuerer Studien beantwortet werden.

### Wenig einheitliche Studiendesigns

Ein Teil der unterschiedlichen Auffassungen zur Bedeutung von EPOC resultiert ganz einfach aus **unterschiedlichen Untersuchungsdesigns**.

Das betrifft einerseits die untersuchte Trainingsbelastung selbst. Diese führt z.B. bei 30 Minuten Handkurbelergometrie mit 60% der Arm- $\text{VO}_2\text{max}$  aufgrund der geringen Belastung und wenig aktiver Muskelmasse nur zu relativ geringem EPOC: 1,5 l EPOC bei Dauerbelastung (nach Abzug für die Kreatinphosphat-Resynthese dann noch entsprechend 22 kJ oder 5 kcal) bzw. 4,47 l EPOC bei Aufteilung in 3 x 10 Minuten Belastung (Lyons et al., 2006).

Dagegen zieht z.B. aber eine Fahrradergometer-Belastung über 80, 40 und 20 Minuten mit 70%  $\text{VO}_2\text{max}$  immerhin ein EPOC in Höhe von 14,4% (bzw. 6,8% und 5,5%) der Gesamt-Belastungs-kcal nach sich – korrigiert dann für 40 Min. 268 kJ bzw. für 20 Min. 65 kcal (Bahr et al., 1987; vgl. dazu Baum & Schuster, 2008).

Überraschend ist auf den ersten Blick jedoch, dass einige Studien nach **Krafttraining** nur über geringe Werte für EPOC berichten. So kommen Haddock und Wilkin (2006) nach acht Stationen Muskeltraining nur auf 5 l EPOC (korrigiert für Krp dann 62 kJ bzw. 15 kcal), egal ob mit 1 oder 3 Sätzen trainiert wurde. Für die Trainingsbelastung selbst ergab sich aber natürlich ein deutlicher Unterschied für den Ener-



gieverbrauch von 234 kcal bei einem Satz versus 661 kcal bei drei Sätzen.

Es ist offensichtlich, dass hier aber schon ein Fehler darin liegen könnte, dass offenbar die **Nachbelastungs-Pausen** während des Trainings, also die Pausen zwischen den Stationen/Sätzen, nicht berücksichtigt wurden (vgl. dazu auch LaForgia et al., 2006).

Nicht zuletzt spielt auch **die Messmethode selber** (also direkte oder indirekte Kalorimetrie), **das eingesetzte Atemgas-Messgerät** (wie Douglas Sack oder Stoffwechselkammer, 'metabolic chamber') und auch **die Messdauer nach Belastung** (wenige Minuten, Stunden oder sogar ganze Tage) eine große Rolle für die Einschätzung von EPOC.

In den letzten Jahren sind dazu jedoch zahlreiche Verbesserungen der Untersuchungsdesigns festzustellen gewesen (LaForgia et al., 2006). So ist es angesichts der bis dato unbefriedigenden Datenlage umso erfreulicher, dass kürzlich zwei interessante Studien vorgelegt wurden, die für Klarheit bezüglich EPOC sorgen.

Prof. Dr. Theodor Stemper

#### Ausgewählte Literatur

- Bahr, R., Ingnes, I., Vaage, O., Sejersted, O.M. & Newsholme, E.A. (1987). Effect of duration of exercise on excess post-exercise oxygen consumption. *J Appl Physiol* 62 (2), 485-490.
- Baum, K. & Schuster, S. (2008). Der Energieumsatz in der Nachbelastungsphase: ein wesentlicher Beitrag zur Gewichtsreduktion? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (5), 110-114.
- Borsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33 (14), 1037-1060.
- Gaesser, G.A. & Brooks, G.A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16 (1), 29-43.

Haddock, B.L. & Wilkin, L.D. (2006). Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *Int J Sports Med* 27 (2), 143 - 148.

Knab, A.M., Shanely, R.A., Corbin, K.D., Jin, F., Sha, W. & Nieman, D.C. (2011). A 45-Minute Vigorous Exercise Bout Increases Metabolic Rate for 14 Hours. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43 (9), 1643-1648.

LaForgia, J., Withers, R.T. & Gore, C.J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci* 24 (12), 1247-1264. DOI: 10.1080/02640410600552064.

Lyons, S., Richardson, M., Bishop, P., Smith, J., Heath, H. & Giesen J. (2006). Excess post-exercise oxygen consumption in untrained males: effects of intermittent durations of arm ergometry. *Appl Physiol Nutr Metab* 31 (3), 196-201.

Mann, T.N., Webster, C., Lamberts, R.P. & Lambert, M.I. (2014). Effect of exercise intensity on post-exercise oxygen consumption and heart rate recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 114 (9), 1809-1820.

Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A. & Grimaldi, K. (2012). High-intensity interval resistance training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *Journal of Translational Medicine*, 10, 237. DOI: 10.1186/1479-5876-10-237.

Phelain, J.F., Reinke, E., Harris, M.A., Melby, C.L. (1997). Post-exercise energy expenditure and substrate oxidation in young women resulting from exercise bouts of different intensity. *J Am Col Nutr* 16 (2), 140 -146.

## Ausblick auf Teil 2

### Themenbereiche der kommenden Artikel

In der kommenden F&G untersucht Prof Stemper für F&G, wie aktuelle Studien den Nachbrenneffekt einschätzen, wie bedeutsam EPOC für die Gewichtsregulation ist, wie stark die Trainingsintensität EPOC beeinflusst und was die Wissenschaft zum Nachbrenneffekt bei Kraft- und Cardiotraining sagt – sowie zu EPOC bei Männern und Frauen.

Diese Fragen werden in der F&G Ausgabe 6/2015 beantwortet.



**Prof. Dr. Theodor Stemper**  
Sportwissenschaftler an der Bergischen Universität Wuppertal, 1. Stellvertretender Vorsitzender des Bundesverbandes Gesundheitsstudios Deutschland e.V. (BVGSD) und Ausbildungsdirektor des DFAV e.V.