

Tim Meyer

Der Respiratorische Quotient (RQ)

Institut für Sport- und Präventivmedizin,
Universität Saarbrücken

Zusammenfassung

Der Respiratorische Quotient wird aus Kohlendioxidabgabe (Zähler) und Sauerstoffaufnahme (Nenner) berechnet. Er unterliegt während körperlicher Belastung systematischen Schwankungen, die vorwiegend von der Belastungsintensität abhängen. Der RQ erlaubt eine Beurteilung des Ausbelastungsgrades bei ergometrischen Untersuchungen sowie zuverlässige Abschätzungen der quantitativen Inanspruchnahme von Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel während Dauerbelastungen. Bei der Bewertung sind allerdings aktuelles Ernährungsverhalten und Vorbela- stungen zu berücksichtigen.

Einleitung/Definition

Der Respiratorische Quotient (RQ) ist eine spiroergometrische Messgröße und als Quotient aus Kohlendioxidabgabe (VCO_2) und Sauerstoffauf- nahme (VO_2) definiert (Textkasten 1). Dementsprechend ist er eine di- mensionslose Größe, die unter körperlicher Belastung Änderungen un- terworfen ist. Der RQ wird im wesentlichen benutzt, um momentane Stoffwechselzustände zu beschreiben und um bei Maximaltests den Grad der Ausbelastung zu erfassen.

$$RQ = VCO_2 / VO_2$$

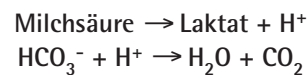
Textkasten 1: Definition des Respiratorischen Quotienten.

Physiologische Grundlagen und praktische Anwendung

VCO_2 entstammt unter Ruhebedingungen überwiegend dem Zitrat-Zy- klus und steht – je nach oxidiertem Substrat – in einem stöchiometrisch festgelegten Verhältnis zur VO_2 . Theoretisch führt eine reine Energie- gewinnung über die Verstoffwechslung von Fettsäuren (im wesentli- chen im Rahmen der β -Oxidation) zu einem RQ von etwa 0,71, reine Kohlenhydratverstoffwechslung (Glykolyse) zu einem von 1,0. Es lie- gen jedoch in der Regel Mischverhältnisse vor, für die anhand des RQ Fett- und Kohlenhydratanteil bestimmt werden können. So ergibt sich beispielsweise für einen RQ von 0,80 ein Verhältnis von 33,4% Koh- lenhydratverbrennung zu 66,6% Fettverbrennung an der Energiege- winnung (1). Die alleinige Verbrennung von Eiweiß würde ebenfalls zu einem RQ von 0,80 führen, stellt jedoch abseits von Hungerperioden bzw. Dauerbelastungen von mehr als 60 Minuten Dauer keine zu berücksichtigende Einflussgröße dar. Eine Abschätzung des Anteils der Eiweißverbrennung am Energieumsatz ist über die Stickstoffausschei- dung im Urin möglich.

Belastungsuntersuchungen

Unter ansteigender Belastung erhöht sich mit zunehmender Sauerstoff- aufnahme je nach verstoffwechseltem Substrat in einem bestimmten Verhältnis (s.o.) auch die Abgabe von Kohlendioxid. Darüber hinaus ent- steht bei laktaziden Belastungen durch die Bicarbonat-Pufferung des bei der Laktatbildung anfallenden Protons zusätzliches Kohlendioxid, soge- nanntes "excess CO_2 " (nicht-metabolisches CO_2 ; vgl. Textkasten 2), das abgeatmet wird. Daher wird ein überproportionaler Anstieg des RQs auch als Hilfskriterium zur Bestimmung der ventilatorischen Schwelle (= erster Laktatanstieg unter ansteigender Belastung = "aerobe" Schwel- le) herangezogen (5).



Textkasten 2: Entstehung von "excess CO_2 " (unterstrichen).

Bei ausgeprägter Laktatakkumulation während ansteigender ergometri- scher Belastungen können als Folge dieses Prozesses sogar RQ-Werte oberhalb von 1,0 auftreten. Erreichbare Maximalwerte hängen insofern eng mit der (Laktat-) Azidose- toleranz eines Individuums zusammen, so dass gut anaerob trainierte Sportler sowohl hohe maximale Blutlaktat-

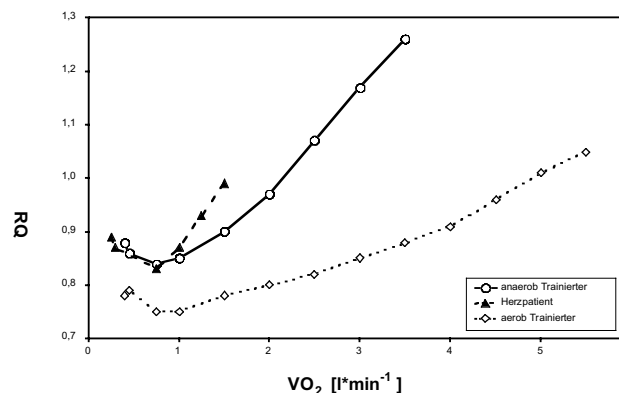


Abbildung 1: Schematisierte typische RQ-Verläufe während ausbelastender ansteigender ergometrischer Belastungen.

konzentrationen (deutlich über 10 mmol/l) als auch hohe maximale RQ- Werte – über 1,15 – erreichen (vgl. Abb. 1, durchgezogene Linie mit of- fenen Kreisen). Je ausdauerorientierter das Training eines Sportlers ist, desto geringer fällt meist sein maximal erreichbarer RQ aus, weil als Fol- ge eines umfangreichen aeroben Trainings häufig die Azidose- toleranz sinkt. Als Kriterium für eine hohe Ausbelastung kann daher bei Aus- dauertrainierten (Abb. 1, gepunktete Linie mit offenen Karos) schon ein RQ > 1,05 dienen, bei Untrainierten bzw. unspezifisch Trainierten ein RQ > 1,10. Herzpatienten erreichen selten höhere Werte als 1,0, selbst wenn der Belastungsabbruch nicht durch kardiale Symptomatik bedingt ist (Abb. 1, gestrichelte Linie mit gefüllten Dreiecken). Nachbelastungs- messungen können nicht bewertet werden, da wegen des sehr schnellen Abfalls der Sauerstoffaufnahme und der verzögerten Laktatausschwem- mung "falsch" zu hohe RQs entstehen.

Aufgrund der nicht-metabolischen CO_2 -Entstehung bei Laktatbil- dung können valide Rückschlüsse vom RQ auf das aktuelle Stoffwech- selgeschehen nur bei konstanten Dauerbelastungen im Intensitätsbe- reich bis zum maximalen Laktat-steady state gezogen werden. Höhere

Intensitäten erfordern komplizierte Korrekturen für das in großer Menge anfallende excess-CO₂ (2). Bei ansteigenden Belastungen mit kurzer Stufendauer besteht häufig für eine gegebene Belastung noch kein stabiles Verhältnis zwischen Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel, selbst wenn bereits steady state-Verhältnisse für VO₂, Laktat und Herzfrequenz erreicht sind.

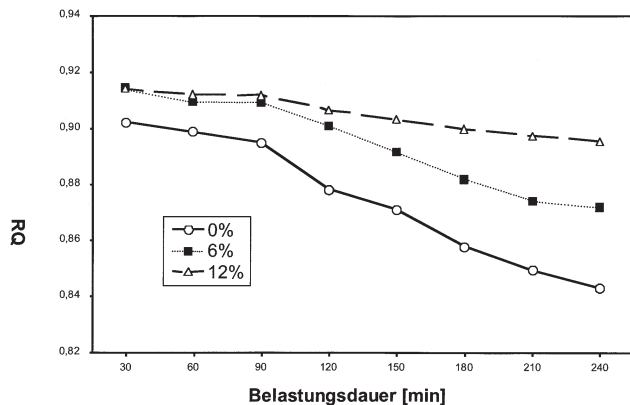


Abbildung 2: RQ-Verläufe während vierstündiger Dauerbelastungen auf dem Fahrrad mit konstanter Intensität unter Substitution verschiedener Mengen an Kohlenhydraten (0%-ige Lösung: Placebo; 6%- bzw. 12%-ige Lösung: 0,6 bzw. 1,2 g pro kg Körpergewicht pro Stunde)

Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen können über den RQ beispielsweise Ernährungsinterventionen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Energiestoffwechsel beurteilt werden. So führte in eigenen Untersuchungen (3) eine Substitution von Kohlenhydraten erwartungsgemäß zu einer dosisabhängigen Reduktion des Fettstoffwechsels während mehrstündiger Ausdauerbelastungen (Abb. 2).

Der spiroergometrisch gemessene RQ fasst die Stoffwechselverhältnisse des gesamten Organismus zusammen, da simultan zur Aktivität der Arbeitsmuskulatur auch in nicht direkt beteiligten Geweben bzw. Organen energiegewinnende Prozesse mit O₂-Verbrauch und CO₂-Abgabe stattfinden. Um spezifischer auf den Stoffwechsel der Arbeitsmuskulatur rückschließen zu können, müsste man eigentlich den Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt der zuführenden Arterien und abführenden Venen invasiv bestimmen. Der auf solche Weise gemessene "echte" RQ der aktiven Muskeln wird jedoch nur geringfügig und in vorhersagbarer Weise (in Richtung auf einen niedrigeren RQ) durch sonstige Stoffwechselprozesse beeinflusst. Je höher die VO₂ der beanspruchten Muskelgruppen, je intensiver also die Belastung, desto geringer sind die Verfälschungen durch andere Organe.

Indirekte Kalorimetrie

Im Rahmen einer indirekten Kalorimetrie dient der RQ der präzisen Bestimmung des zu verwendenden Kalorischen Äquivalents. Je nach oxidiertem Substrat schwankt das Kalorische Äquivalent zwischen 4,69 kcal/l O₂ bzw. 19,6 kJ/l O₂ (Fettverbrennung) und 5,05 kcal/l O₂ bzw. 21,1 kJ/l O₂ (Kohlenhydratverbrennung) (1). Dieser Wert ist mit der entsprechenden Sauerstoffaufnahme zu multiplizieren, um den Energieverbrauch hochzurechnen. Für praktische Belange verliert der RQ jedoch bei dieser Kalkulation an Bedeutung, da häufig ein mittlerer Wert des Kalorischen Äquivalents von 4,85 kcal/l O₂ (20,3 kJ/l O₂) benutzt wird. Die bei solchem Vorgehen resultierende Ungenauigkeit liegt bei maximal 4 Prozent (bei reiner Kohlenhydratverbrennung). Unter der Annahme "gemischter" Stoffwechselverhältnisse sind die Abweichun-

gen vom wahren Wert sogar geringer, so dass die Berücksichtigung des RQ bei der indirekten Kalorimetrie jenseits wissenschaftlicher Fragestellungen verzichtbar erscheint.

Externe Einflussfaktoren

Weil sowohl eine veränderte Nutzung des Kohlenhydratstoffwechsels als auch unterschiedliche Laktatbildungsraten den RQ beeinflussen, haben die Ernährung sowie körperliche Belastungen im Vorfeld einer ergometrischen Untersuchung Auswirkungen auf den zu messenden RQ-Verlauf. So ist nach kohlenhydratarmer Kost oder nach einer belastungsbedingten Entleerung der Glykogenspeicher mit vermehrter Verstoffwechslung von Fettsäuren sowie geringeren Blutlaktatkonzentrationen für gegebene Belastungen zu rechnen. Die resultierenden RQ-Messungen liegen dementsprechend niedriger, und die Vergleichbarkeit zu Messungen unter "Normalbedingungen" ist beeinträchtigt. Als praktische Konsequenz ergibt sich, dass am Tag vor Belastungsuntersuchungen mit Bewertung des RQ keine intensiven oder umfangreichen Ausdauerbelastungen stattfinden sollten. Darüber hinaus ist von Reduktionsdiäten an den Tagen vor solchen Terminen Abstand zu nehmen, und die Mahlzeiten am Vortag sowie am Belastungstag sollten kohlenhydratreich sein. Es existieren jedoch Hinweise, dass bei Athleten im Zustand eines Übertrainings selbst unter Berücksichtigung dieser Verhaltensregeln der RQ erniedrigt sein kann (4).

Fazit

Der RQ ist ein unblutiger Parameter, der während körperlicher Belastungen unter Berücksichtigung verschiedener methodischer Voraussetzungen und Einschränkungen valide Aussagen über den Grad der Ausbelastung sowie die momentane Stoffwechselsituation der Arbeitsmuskulatur erlaubt. Er kann darüber hinaus herangezogen werden, um sehr präzise Berechnungen des aktuellen Energieverbrauchs anzustellen (indirekte Kalorimetrie). Insofern ist es mit der Spiroergometrie möglich, im Ausdauertraining verschiedene Trainingsformen und Ernährungsmodifikationen über den RQ hinsichtlich ihres Stoffwechseleffektes zu überprüfen.

Literatur

1. Diem K, Lentner C: Wissenschaftliche Tabellen. Documenta Geigy, Wehr (1968).
2. Frayn KN: Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol* 55 (1983) 628-634.
3. Meyer T, Gabriel HHW, Auracher M, Scharhag J, Kindermann W: Metabolic profile of 4 hours cycling in the field with varying amounts of carbohydrate supply. *Eur J Appl Physiol* (2003) im Druck.
4. Snyder AC, Kuipers H, Cheng B, Servais R, Franssen E: Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc* 27 (1995) 1063-1070.
5. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35 (1973) 236-243.

Korrespondenzadresse

Dr. Tim Meyer

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Universität Saarbrücken

66041 Saarbrücken

e-mail:t.meyer@rz.uni-sb.de