

Geavanceerde Ademgasanalyse en de Determinatie van Ventilatoire Drempels zonder CO_2 -Data: Een Expert-Rapport over Ademhalingstactieken en Protocollen voor de VO2 Master Pro

De fysiologische profilering van atleten en klinische populaties is decennialang gestoeld op de gelijktijdige analyse van zuurstofconsumptie ($\dot{V}O_2$) en koolstofdioxideproductie ($\dot{V}CO_2$). De opkomst van draagbare, zuurstof-georiënteerde metabole analysatoren, zoals de VO2 Master Pro, heeft echter geleid tot een paradigmaverschuiving in hoe ventilatoire drempels worden geïdentificeerd en geïnterpreteerd.¹ Dit rapport biedt een diepgaande analyse van de methodieken om de eerste ventilatoire drempel (VT_1) en de tweede ventilatoire drempel (VT_2) te bepalen door uitsluitend gebruik te maken van ademhalingsparameters zoals minuutventilatie (\dot{V}_E), ademfrequentie (B_f), teugvolume (V_t), de fractie uitgeademde zuurstof (FEO_2) en de ventilatoire equivalent voor zuurstof (eqO_2).⁴ Door de fysiologische onderbouwing van het triphasische model te integreren met de technische specificaties van de VO2 Master Pro, wordt een wetenschappelijk gefundeerd kader geschetst voor het analyseren van ademhalingstactieken en het uitvoeren van nauwkeurige fietstesten.⁷

Het Triphasische Model van Metabole Transitie

De fysiologische respons op incrementele inspanning wordt klassiek beschreven via het triphasische model, oorspronkelijk gedefinieerd door Skinner en McLellan in 1980.⁶ Dit model verdeelt de inspanningsintensiteit in drie zones, gescheiden door twee metabole overgangspunten. Het begrijpen van deze fasen is essentieel voor het identificeren van drempels zonder CO_2 -data, aangezien de ventilatoire respons een directe afspiegeling is van de onderliggende metabole processen.⁹

Fase I: Het Aerobe Domein

In de eerste fase, die loopt van rust tot aan VT_1 , is de energievoorziening nagenoeg volledig aeroob. De voornaamste brandstofbronnen zijn vrije vetzuren, waarbij de rekrutering van Type I (slow-twitch) spiervezels domineert.¹ Tijdens deze fase stijgt de minuutventilatie lineair met de

zuurstofconsumptie. De fysiologische homeostase blijft gehandhaafd; er is geen significante stijging in de bloedlactaatconcentratie omdat de productie van lactaat in de werkende spieren perfect wordt gebalanceerd door de klaring in de lever, het hart en de niet-actieve spiervezels.⁷

Het einde van deze fase, de aerobe drempel (VT_1), markeert het punt waarop de eerste tekenen van metabole stress zichtbaar worden in de ademhalingsstatistieken.⁷

Fase II: De Overgangszone en Isocapnische Buffering

Fase II bevindt zich tussen VT_1 en VT_2 . Bij het overschrijden van VT_1 begint de bloedlactaatspiegel systematisch te stijgen, wat duidt op een verhoogde bijdrage van de anaerobe glycolyse en de rekrutering van Type Ila spiervezels.⁷ De dissociatie van melkzuur in lactaat en waterstofionen (H^+) wordt gebufferd door het bicarbonaatsysteem in het bloed, wat resulteert in de productie van 'excessief' koolstofdioxide.¹¹ Dit extra CO_2 stimuleert de chemoreceptoren, wat leidt tot een disproportionele stijging van de ventilatie ten opzichte van de zuurstofopname.⁵ Desondanks blijft de arteriële pCO_2 stabiel door de verhoogde uitademing, een fenomeen dat bekend staat als isocapnische buffering.⁹

Fase III: Metabole Acidose en Respiratoire Compensatie

Fase III begint bij VT_2 , ook wel het respiratoire compensatiepunt (RCP) genoemd.⁵ In deze fase kan het bicarbonaatsysteem de toenemende stroom van H^+ -ionen niet langer volledig compenseren, wat leidt tot een daling van de bloed-pH (acidose).⁷ De resulterende daling in pH fungeert als een krachtige prikkel voor de ademhalingscentra om de ventilatie nog agressiever te verhogen. Dit leidt tot een secundaire knik in de \dot{V}_E -curve en een daling van de end-tidale CO_2 -spanning ($PETCO_2$), aangezien de persoon letterlijk probeert de acidose weg te ademen.¹ Inspanning in deze zone is zeer intensief en kan slechts gedurende korte tijd worden volgehouden.¹

Fase	Intensiteitsdo mein	Metabole Toestand	Brandstof	Bovenwaartse Drempel
Fase I	Licht tot Matig	Aeroob / Steady State	Vetten (MFO)	VT_1 (Aerobe Drempel)
Fase II	Zwaar	Isocapnische	Mix Vetten/Koolhyd	VT_2

		Buffering	raten	(Anaerobe Drempel)
Fase III	Zeer Zwaar / Sever	Metabole Acidose	Koolhydraten	$\dot{V}O_{2\max}$

4

Gasuitwisselingsparameters zonder CO₂-Data

Het ontbreken van $\dot{V}CO_2$ -sensoren in apparatuur zoals de VO2 Master Pro betekent dat de traditionele V-slope methode (waarbij $\dot{V}CO_2$ tegen $\dot{V}O_2$ wordt uitgezet) niet bruikbaar is.² In plaats daarvan verschuift de focus naar de dynamiek van de zuurstofextractie en de ventilatoire efficiëntie, uitgedrukt via FE_{O_2} en eqO_2 .⁶

De Ventilatoire Equivalent voor Zuurstof (eqO_2)

De ventilatoire equivalent voor zuurstof ($eqO_2 = \dot{V}_E / \dot{V}O_2$) geeft aan hoeveel liter lucht geventileerd moet worden om één liter zuurstof op te nemen.¹⁸ Het is een directe maatstaf voor de ventilatoire efficiëntie. Tijdens de beginfasen van een incrementele test daalt de eqO_2 doorgaans naarmate de efficiëntie van de gasuitwisseling toeneemt bij matige intensiteit.⁶

Het identificeren van VT_1 via eqO_2 berust op het vinden van het laagste punt (nadir) van deze curve. Zodra de intensiteit VT_1 overschrijdt, begint de ventilatie disproportioneel te stijgen door de excessieve $\dot{V}CO_2$ -prikkel, terwijl de zuurstofopname nog steeds lineair toeneemt met de belasting.⁵ Hierdoor stijgt de ratio $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ systematisch. In een volledige metabole cart zou men controleren of de equivalent voor $\dot{V}CO_2$ ($eqCO_2$) stabiel blijft op dit punt, maar bij O_2 -only metingen is de eerste aanhoudende stijging in eqO_2 de primaire indicator voor VT_1 .⁵

Bij VT_2 is er een tweede, nog steilere stijging in de eqO_2 -curve zichtbaar. Dit reflecteert de hyperventilatie die nodig is voor respiratoire compensatie van de acidose.⁵

De Fractie Uitgeademde Zuurstof (FEO_2)

De fractie uitgeademde zuurstof (FEO_2) is het percentage zuurstof dat in de uitgeademde lucht achterblijft.⁶ In rust en bij zeer lichte inspanning is dit percentage relatief hoog. Naarmate de intensiteit toeneemt tot een matig niveau, stijgt de extractie-efficiëntie in de alveoli en daalt de FEO_2 naar een minimumwaarde.⁶

Net als bij de eqO_2 , markeert de nadir van de FEO_2 het begin van VT_1 .⁶ Zodra de persoon disproportioneel meer gaat ademen om CO_2 te verwijderen, wordt de verblijftijd van de lucht in de longen relatief korter en wordt er per liter geventileerde lucht minder zuurstof onttrokken. Dit resulteert in een stijging van de FEO_2 . Deze parameter is vaak minder gevoelig voor korte fluctuaties in de ademhaling dan de minuutventilatie zelf, waardoor het een stabiel ankerpunt vormt voor de manuele detectie van VT_1 .⁶

Parameter	Gedrag bij VT1	Gedrag bij VT2
\dot{V}_E	Eerste niet-lineaire knik	Tweede, steilere knik
eqO_2	Systeemsche stijging vanaf nadir	Secundaire, scherpe stijging
FEO_2	Nadir; begin van stijging	Voortgezette snelle stijging

5

Adempatronen: Analyse van Tactieken en Strategieën

Een cruciaal aspect van diepgaande ademgasanalyse is het onderscheid tussen hoe een individu zijn minuutventilatie (\dot{V}_E) vergroot. De \dot{V}_E is het product van het teugvolume (V_t) en de ademfrequentie (B_f). De wijze waarop deze twee variabelen interageren, onthult veel over de fysiologische efficiëntie en de mogelijke limitaties van een persoon.¹

Volume-georiënteerde vs. Frequentie-georiënteerde Responders

Tijdens incrementele inspanning is er een stereotiep patroon waarbij in eerste instantie vooral het teugvolume toeneemt om aan de ventilatievraag te voldoen.²³ Pas later in de test, vaak rond

VT_2 , begint de ademfrequentie dominant te stijgen. Er bestaan echter significante individuele verschillen in deze "ademhalingstactieken".¹

1. **Volume-georiënteerde (Hyperpneische) Responders:** Deze individuen verhogen hun ventilatie primair door dieper te ademen. Dit is een energetisch efficiëntere strategie omdat de verhouding tussen alveolaire ventilatie en dode-ruimteventilatie gunstiger is.²⁴

Goed getrainde duuratleten vertonen vaak dit patroon, waarbij V_t blijft stijgen of een plateau bereikt ver boven de 50-60% van hun vitale capaciteit voordat B_f excessief toeneemt.²⁹

2. **Frequentie-georiënteerde (Tachypneische) Responders:** Bij deze personen stijgt de ademfrequentie al vroeg in de test. Dit patroon wordt vaak geassocieerd met een lagere aerobe conditie, angst, of mechanische restricties.²³ Een vroege overgang naar tachypneu verhoogt het werk van de ademhalingsspieren en correleert sterk met een hogere score op de Borg-schaal voor ervaren benauwdheid (dyspneu).²³

Mechanische Consequenties en de Bohr-effect-link

De keuze van de ademhalingstactiek heeft directe gevolgen voor de zuurstofafgifte aan de weefsels. Diepere ademhaling (volume-georiënteerd) zorgt voor een betere expansie van de onderste longgebieden en een optimalere gasuitwisseling.²⁹ Bovendien helpt een

gecontroleerde ademhaling de arteriële pCO_2 op een niveau te houden dat het Bohr-effect optimaliseert. Het Bohr-effect beschrijft hoe een verhoogde concentratie CO_2 en een lagere pH de affiniteit van hemoglobine voor zuurstof verminderen, waardoor zuurstof makkelijker wordt afgegeven aan de spieren.²⁹ Personen die te vroeg overschakelen naar een hoge ademfrequentie "wassen" hun CO_2 te snel uit, wat de zuurstofafgifte op weefselniveau paradoxaal genoeg kan bemoeilijken, zelfs bij een hoge ventilatie.²⁹

Predictoren en Variabiliteit bij Specifieke Populaties

Verschillende populaties vertonen unieke adempatronen die de drempeldetectie kunnen beïnvloeden:

- **Vrouwen:** Vrouwen hebben over het algemeen kleinere longvolumes en smallere luchtwegen, wat vaak leidt tot een snellere stijging van de ademfrequentie (B_f) in vergelijking met mannen bij dezelfde relatieve intensiteit.⁵
- **Ouderen:** Door een afname van de longelasticiteit en de compliantie van de borstkas neigen ouderen vaker naar een tachypneisch patroon om de afnemende V_t -capaciteit te compenseren.²⁷
- **Patiënten na een beroerte (Stroke):** Bij deze populatie is de aerobe capaciteit (VO_2)

peak) vaak beperkt door motorische disfunctie in plaats van cardiovasculaire limitaties.

Het bepalen van $\dot{V}T_1$ via gasanalyse is bij hen betrouwbaarder dan het kijken naar piekwaarden, omdat het drempelpunt minder wordt beïnvloed door perifere parese.³⁵

- **Myopathische Patiënten:** Personen met spierziekten vertonen vaak een vroege hyperventilatie-respons door een verhoogde neurale drive van de spier-afferenten, wat resulteert in een zeer vroege stijging van de eqO_2 .³³

De VO2 Master Pro: Apparatuur en Validiteit

De VO2 Master Pro is een draagbare metabole analysator die gebruikmaakt van een elektrochemische galvanische cel voor zuurstofmeting en een differentiële druksensor voor flow-meting.² Het apparaat is ontworpen om direct op het gezicht te worden gedragen, wat slangen en rugzakken elimineert, maar specifieke technische uitdagingen met zich meebrengt.²

Technische Specificaties en Beperkingen

In tegenstelling tot laboratorium-carts die vaak mengkamers gebruiken, is de VO2 Master een breath-by-breath systeem.² Dit vereist een nauwkeurige synchronisatie tussen de flow-signalen en de gasconcentraties.

- **Nauwkeurigheid:** Volgens de fabrikant is het apparaat accuraat tot $\pm 3\%$ voor O_2 en flow.² Onafhankelijk onderzoek toont aan dat de validiteit voor $\dot{V}O_2$ en \dot{V}_E acceptabel is over een breed scala aan intensiteiten, hoewel de betrouwbaarheid iets lager kan zijn dan bij top-end laboratoriumsystemen.²
- **Omgevingsfactoren:** Omdat de flow-sensor aan de voorkant van de mond is geplaatst, kan het systeem gevoelig zijn voor tegenwind en extreme luchtvochtigheid.³ Dit is een belangrijke overweging bij veldtesten op de fiets.
- **Batterij en Kalibratie:** Het apparaat werkt op een AAA-batterij en vereist een 'zero' kalibratie bij het opstarten, waarbij het 30 seconden stil moet liggen om de omgevingslucht te analyseren.³

Kalibratieprotocollen

Voor betrouwbare drempelbepaling is een strikt kalibratieprotocol noodzakelijk:

1. **Acclimatisatie:** Laat de analysator minimaal 30 minuten acclimatiseren aan de testomgeving.³⁷
2. **Syringe Kalibratie:** Gebruik een 3-liter spuit om de flow-sensor te verifiëren. Dit is cruciaal voor de nauwkeurigheid van de \dot{V}_E en daarmee de eqO_2 .³
3. **Gas Kalibratie:** Hoewel het apparaat automatisch kalibreert op omgevingslucht, kan bij

high-performance testen een manuele kalibratie met bekende gasmengsels nodig zijn.²²

4. **Filtermanagement:** De filterdiscs moeten na elke sessie worden vervangen om vochtophoping in de sensoren te voorkomen, wat de data zou kunnen verstoren.³

Het Ontwikkelen van een Fietstestprotocol (Step Test)

Een optimaal protocol voor het bepalen van ventilatoire drempels moet een balans vinden tussen voldoende tijd voor metabole stabilisatie in de vroege fasen en een totale duur die kort genoeg is om maximale inspanning te bereiken zonder voortijdige vermoeidheid door substraatuitputting.¹

Waarom een Step Test in plaats van een Ramp Test?

Voor het nauwkeurig bepalen van VT_1 heeft een step-protocol (met trappen van 1-3 minuten) de voorkeur boven een ramp-protocol (continue stijging).³⁹ Dit komt omdat VT_1 een aeroob markerpunt is. Bij een continue ramp is er altijd een vertraging (mean response time) tussen de metabole productie en de detectie aan de mond, wat de drempelwaarde kan "verschuiven".⁴¹ Een stap van minimaal 2 minuten stelt de hartslag en ventilatie in staat om een steady-state te bereiken, wat de knikpunten in de eqO_2 en FEO_2 curves veel duidelijker maakt.¹¹

Protocolstructuur voor de VO2 Master Pro

1. Pre-Test Screening en Voorbereiding

- Bepaal de fitnessstatus van de atleet (sedentair, actief, elite) om de startintensiteit en stapgrootte te kiezen.³⁹
- Zorg voor een rusthartslagmeting en koppel alle sensoren (HR-band en VO2 Master) aan de Manager App.³⁹
- Voer de instructies consistent uit ("niet praten tijdens de test", "gebruik handgebaren voor RPE").³⁹

2. De Warm-up

- **Duur:** 10 minuten.
- **Intensiteit:** Zeer laag, gericht op een hartslag < 100 bpm of $50 - 60\%$ van de voorspelde HR max.¹
- **Doel:** Stabilisatie van de gasuitwisseling en het wegnemen van initiële hyperventilatie door spanning.³

3. De Testfase (De Steps)

Het doel is om 8 tot 12 stappen te voltooien voordat uitputting optreedt.⁸

Categorie	Startbelasting	Stapgrootte	Stapduur
Deconditioned	20 - 30 Watt	10 - 15 Watt	3 Minuten
Recreatiever	50 - 80 Watt	20 - 25 Watt	2 Minuten
Elite Cyclist	100 - 150 Watt	30 - 40 Watt	1 - 2 Minuten

39

- **Cadans:** Houd een constante cadans aan (bijv. 85-90 rpm) om de invloed van "movement frequency" op de ademhaling consistent te houden.³⁰
- **Dataverzameling:** Noteer RPE in de laatste 30 seconden van elke stap.³⁹

4. Beëindiging

De test stopt bij volitionele uitputting of wanneer de cadans met meer dan 10 rpm daalt ondanks aanmoediging.⁴

Manuele Identificatie van VT1 en VT2

Hoewel de VO2 Master Manager App een ingebouwd algoritme heeft voor drempeldetectie, is de expertise van de beoordelaar doorslaggevend voor validatie, zeker bij afwijkende adempatronen.¹

Richtlijnen voor VT1 (De Aerobe Drempel)

Om VT_1 manueel te markeren in de VO2 Master rapportage, zoekt men naar de samenloop van de volgende criteria:

1. **Nadir van eqO_2 :** Zoek het punt waar de ratio $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ stopt met dalen en begint aan een systematische stijging.⁵
2. **Nadir van FEO_2 :** Dit punt moet samenvallen met de stijging in eqO_2 .⁶
3. **De Talk Test:** VT_1 komt overeen met het punt waarop comfortabel praten niet meer mogelijk is. De persoon kan nog wel praten, maar de zinnen worden korter en onderbroken door ademhalingen.¹
4. **Teugvolume (V_t):** Er is vaak een verschuiving zichtbaar in de diepte van de ademhaling; de persoon gaat merkbaar dieper ademen om de eerste stijging in CO_2 te

compenseren.¹

Richtlijnen voor VT2 (Het Respiratoir Compensatiepunt)

VT_2 is fysiologisch meer uitgesproken en wordt gekenmerkt door:

1. **Secundaire stijging in \dot{V}_E** : De ventilatiecurve vertoont een tweede knikpunt waarbij de stijging steiler wordt dan de belastingstoename.¹
2. **De Ademfrequentie (B_f) Spike**: Dit is vaak de meest betrouwbare marker voor VT_2 bij O_2 -only metingen. Er treedt een abrupte, niet-lineaire toename van de ademfrequentie op (tachypneu).¹
3. **Plateau in V_t** : Terwijl de frequentie piekt, zie je vaak dat het teugvolume stagneert of zelfs licht daalt door de mechanische beperkingen van het snelle ademen.¹
4. **Onvermogen om te praten**: De persoon kan op dit punt alleen nog maar ja- of nee-signalen geven.¹

Integratie van Heart Rate Variability (HRV)

Een innovatieve toevoeging aan ademgasanalyse is de integratie van HRV-data, specifiek de Detrended Fluctuation Analysis (DFA- α_1).⁴⁴

- **DFA- α_1 bij VT1**: Naarmate de intensiteit toeneemt, verschuift het autonome zenuwstelsel van parasympathische naar sympathische dominantie. Een DFA- α_1 waarde van 0.75 wordt in veel studies geassocieerd met VT_1 .⁴⁴
- **DFA- α_1 bij VT2**: Een verdere daling naar 0.50 wordt gezien als een indicatie voor VT_2 .⁴⁴ De VO2 Master rapporten bevatten vaak HRV-data die als secundaire validatie kunnen dienen voor de ventilatoire knikpunten.⁴⁵

Praktische Interpretatie van Resultaten

De waarde van VT_1 en VT_2 ligt niet in de absolute zuurstofopname, maar in hun positie ten opzichte van de maximale capaciteit (% van $VO_{2\text{ max}}$).⁴

Status	VT1 (% VO2 Max)	VT2 (% VO2 Max)	Implicatie
Ongetraind	40% - 50%	65% - 75%	Snelle

			lactaataccumulatie
Getraind	55% - 65%	80% - 85%	Goede aerobe basis
Elite Atleet	70% - 75%	88% - 93%	Extreme metabole efficiëntie

4

Ademanalyse als Diagnostisch Instrument

Het observeren van de adempatronen tijdens de fietstest kan helpen bij het identificeren van specifieke trainingsbehoeften:

- **Hoge $\dot{V}E$ bij lage intensiteit:** Kan wijzen op inefficiënte ademhaling of een gebrek aan mitochondriale capaciteit (vroeg lactaatproductie).⁶
- **Vroege B_f spike met laag \dot{V}_t :** Sugereert ademhalingspijvermoeidheid of mechanische inefficiëntie. Specifieke ademspiertraining (RMT) kan hier de drempels verhogen door de ademfrequentie te verlagen en de Bohr-effect-balans te verbeteren.²³
- **Stabiele FEO_2 over een breed bereik:** Een teken van uitstekende aerobe metabole controle en efficiënte zuurstofextractie.⁶

Conclusies en Aanbevelingen

De determinatie van ventilatoire drempels zonder CO_2 -data is niet alleen mogelijk, maar biedt bij correct gebruik van parameters als $\dot{V}E$ en FEO_2 een zeer hoge mate van nauwkeurigheid die vergelijkbaar is met laboratoriumstandaarden.⁵ Voor de professionele gebruiker van de VO2 Master Pro is het essentieel om verder te kijken dan de automatische rapporten en de onderliggende adempatronen te analyseren.

1. **Protocol-discipline:** Gebruik een step-test met trappen van minimaal 2 minuten om de fysiologische 'steady-state' te garanderen die nodig is voor VT_1 detectie.¹
2. **Focus op Nadirs:** VT_1 wordt gedefinieerd door de nadir van $\dot{V}E$ en FEO_2 . Een systematische stijging vanaf dit punt markeert de overgang naar de zware intensiteitszone.⁵
3. **Monitor de Ademtactiek:** Analyseer of een atleet volume- of frequentie-georiënteerd is. Een vroege verschuiving naar ademfrequentie (B_f) bij VT_2 is een teken van naderende

uitputting door metabole acidose.¹

4. **Individualisering:** Gebruik drempels om trainingszones te bepalen in plaats van vaste percentages van de maximale hartslag, aangezien drempels per individu en per fitnessniveau enorm variëren.⁴

Door deze methodiek toe te passen, kan de fysiologische capaciteit van een individu tot in detail in kaart worden gebracht, wat de basis vormt voor gepersonaliseerde trainingsschema's, prestatieverbetering en klinische monitoring. De VO2 Master Pro fungeert hierbij als een krachtig instrument dat laboratorium-precisie vertaalt naar de praktijkomgeving van de fiets of de veldtest.³

Geciteerd werk

1. Everything You Need to Know About Ventilatory Thresholds - VO2 Master, geopend op februari 18, 2026, <https://vo2master.com/blog/ventilatory-thresholds-explained/>
2. Validity and Reliability of the VO2 Master Pro for Oxygen Consumption and Ventilation Assessment - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7523887/>
3. KORR CardioCoach vs. VO2 Master, geopend op februari 18, 2026, <https://korr.com/korr-cardiocoach-vs-vo2-master/>
4. Ventilatory Thresholds Differences According to Aerobic Fitness ..., geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12173951/>
5. Novel Computerized Method for Automated Determination of ..., geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8718913/>
6. Ventilation Behavior in Trained and Untrained Men During ..., geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3761890/>
7. Aerobic threshold or ventilatory threshold 1 - C2 Cycling Coach, geopend op februari 18, 2026, <https://www.c2cyclingcoach.com/en/umbral-aerobico-o-umbral-ventilatorio-1/>
8. Ventilatory Thresholds - VO2 Master, geopend op februari 18, 2026, <https://vo2master.com/blog/ventilatory-thresholds/>
9. The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism - ResearchGate, geopend op februari 18, 2026, https://www.researchgate.net/publication/15805387_The_Transition_from_Aerobic_to_Anaerobic_Metabolism
10. Ventilatory Thresholds Explained: Your Key to Unlocking Peak Performance, geopend op februari 18, 2026, <https://korr.com/ventilatory-thresholds-explained-your-key-to-unlocking-peak-performance/>
11. VENTILATORY THRESHOLD TESTING - ACE Fitness, geopend op februari 18, 2026, https://contentcdn.eacefitness.com/certifiednews/images/article/pdfs/VT_Testing.pdf
12. What is the Difference Between VT1, VT2 and VO2 max? - ACE Fitness, geopend op februari 18, 2026,

- <https://www.acefitness.org/fitness-certifications/ace-answers/exam-preparation-blog/3139/what-is-the-difference-between-vt1-vt2-and-vo2-max/>
13. Sequencing patterns of ventilatory indices in less trained adults - Frontiers, geopend op februari 18, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/sports-and-active-living/articles/10.3389/fspor.2022.1066131/full>
 14. Utility of the Respiratory Compensation Point for Estimating Critical Power: Insights From Normoxia and Hypoxia - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11967705/>
 15. Determination of the Respiratory Compensation Point by Detecting Changes in Intercostal Muscles Oxygenation by Using Near-Infrared Spectroscopy - MDPI, geopend op februari 18, 2026, <https://www.mdpi.com/2075-1729/12/3/444>
 16. The influence of protocol design on the identification of ventilatory thresholds and the attainment of peak physiological responses during synchronous arm crank ergometry in able-bodied participants - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6763408/>
 17. View of DETERMINATION OF THE VENTILATORY ANAEROBIC THRESHOLD BY THE RESPONSE OF THE CARDIAC FREQUENCY OF INDIVIDUALS WITH A RISK FACTOR FOR CARDIOVASCULAR DISEASES: COMPARISON WITH A VISUAL METHOD, geopend op februari 18, 2026, <https://periodicos.ufrn.br/revistadefisioterapia/article/view/17281/12579>
 18. Effectiveness of Individualized Aerobic Training at the Ventilatory Threshold in the Elderly, geopend op februari 18, 2026, <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article-pdf/52A/5/B260/1704960/52A-5-B260.pdf>
 19. How Does the Method Used to Measure the VE/VCO₂ Slope Affect Its Value? A Cross-Sectional and Retrospective Cohort Study - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10178610/>
 20. The Lowest VE/VCO₂ Ratio during Exercise as a Predictor of Outcomes in Patients with Heart Failure - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4768741/>
 21. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold - ResearchGate, geopend op februari 18, 2026, https://www.researchgate.net/profile/Otto-Sanchez/publication/11663144_VValidity_and_reliability_of_combining_three_methods_to_determine_ventilatory_threshold/links/5af065770f7e9ba366415b13/Validity-and-reliability-of-combining-three-methods-to-determine-ventilatory-threshold.pdf
 22. Novel Computerized Method for Automated Determination of Ventilatory Threshold and Respiratory Compensation Point - KBR, geopend op februari 18, 2026, https://www.kbr.com/sites/default/files/documents/2023-09/7877_SCI_Kim_Novel_Computerized_Method_VT.pdf
 23. Coupling of dyspnea perception and occurrence of tachypnea during exercise - PMC - NIH, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10717682/>

24. Respiratory frequency and tidal volume during exercise: differential ..., geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6215760/>
25. Differential control of respiratory frequency and tidal volume during exercise - PubMed, geopend op februari 18, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36326866/>
26. Abnormal Respirations - StatPearls - NCBI Bookshelf - NIH, geopend op februari 18, 2026, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470309/>
27. The pattern and timing of breathing during incremental exercise: a normative study, geopend op februari 18, 2026, <https://publications.ersnet.org/content/erj/21/3/530>
28. Respiratory Frequency during Exercise: The Neglected Physiological Measure - Frontiers, geopend op februari 18, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2017.00922/full>
29. Effects of Respiratory Muscle Training and Ventilatory Strategies on the Performance of Professional Cyclists | POWERbreathe, geopend op februari 18, 2026, <https://www.powerbreathe.com/wp-content/uploads/2025/07/Effects-of-Respiratory-Muscle-Training-and-Ventilatory-Strategies-on-the-Performance-of-Professional-Cyclists.pdf>
30. (PDF) Ventilatory response during an incremental exercise test: A mode of testing effect, geopend op februari 18, 2026, https://www.researchgate.net/publication/224771894_Ventilatory_response_during_an_incremental_exercise_test_A_mode_of_testing_effect
31. Eight respiratory patterns every Respiratory Therapy student must know and what they mean, geopend op februari 18, 2026, <https://blog.respiratorycram.com/eight-respiratory-patterns-every-respiratory-therapy-student-must-know-and-what-they-mean/>
32. Breathing Pattern Insights from Cori Fratelli's Research | Association of Pulmonary Advanced Practice Providers (APAPP), geopend op februari 18, 2026, <https://www.pulmapp.com/breathing-pattern-insights-from-cori-fratellis-research/>
33. Breathing pattern during exercise in myopathic subjects - PubMed, geopend op februari 18, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3452445/>
34. Example of determination of VT1 and VT2. (A) left: ExCO₂, right: V-slope for VT1. (B) left - ResearchGate, geopend op februari 18, 2026, [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-determination-of-VT1-and-VT2-A-left-ExCO₂-right-V-slope-for-VT1-B_fig1_357155956](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-determination-of-VT1-and-VT2-A-left-ExCO2-right-V-slope-for-VT1-B_fig1_357155956)
35. Ventilatory Threshold may be a More Specific Measure of Aerobic Capacity than Peak Oxygen Consumption Rate in Persons with Stroke - PMC, geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5588902/>
36. VO₂ Master - Ebook V1, geopend op februari 18, 2026, https://www.sandme.co.jp/pdf/VO2MASTER_Ebook.pdf
37. VO₂ Max Testing in the Field: A Practical Guide for Fitness Professionals, geopend op februari 18, 2026, <https://vo2master.com/blog/vo2-max-testing-in-the-field/>

38. vo2 master analyzer - getting started - SimpliFaster, geopend op februari 18, 2026,
<https://store.simplifaster.com/wp-content/uploads/2019/08/QuickStartGuide.pdf>
39. How to Perform a VO2 Max Test with VO2 Master, geopend op februari 18, 2026,
<https://vo2master.com/blog/how-to-perform-vo2-max-test-vo2-master/>
40. Comparison of the Ramp and Step Incremental Exercise Test ..., geopend op februari 18, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8607772/>
41. UNIVERSITY OF CALGARY The "Step-Ramp-Step" Protocol: Evaluating the Effects of a Smaller First Step Amplitude and Different, geopend op februari 18, 2026,
<https://ucalgary.scholaris.ca/bitstreams/697cf77c-b0a0-4fbd-98b3-51ac5df69747/download>
42. New Programming Ideas for Traditional Cardio Exercise, Part 2 - NASM Blog, geopend op februari 18, 2026,
<https://blog.nasm.org/sports-performance/new-programming-ideas-for-traditional-cardio-exercise-part-2>
43. cardiopulmonary exercise testing - CACPT, geopend op februari 18, 2026,
<https://www.cacpt.ca/wp-content/uploads/2019/09/1045-Carl-Mottram-2019-CPFS-CPET-final.pdf>
44. Ventilatory thresholds - Using HRV to assess VT1 and VT2, geopend op februari 18, 2026,
<https://www.kubios.com/blog/ventilatory-threshold-estimation-based-on-hrv/>
45. The Drive with Peter Attia Q&A: You Asked, VO2 Master Answered, geopend op februari 18, 2026, <https://vo2master.com/blog/the-drive-with-peter-attia-qa/>
46. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study | Request PDF, geopend op februari 18, 2026,
https://www.researchgate.net/publication/12284112_Heart_rate_and_performance_parameters_in_elite_cyclists_A_longitudinal_study
47. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold - PubMed, geopend op februari 18, 2026,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11689733/>