

Utilisation des cétones à l'entraînement et en compétition

Un triathlète de niveau international



Faustine PICHARD, Manon SOULIÉ, Lilian MATHIEN, Benjamin MARAIS et Louison LE CALVÉ
M2 EOPS



CETONE EXOGENE : SUJET D’ACTUALITE ET DE CONTROVERSE

voir les directs (2)

L’EQUIPE

Cyclisme

L'UCI déconseille encore l'utilisation des cétones, sans les interdire : « Ces compléments n'ont aucun effet sur les performances lors d'efforts d'endurance »

INVESTIGATIONS

Exclusive: Sir Bradley Wiggins took ketones in Tour de France-winning year

Leaked presentation shows that Wiggins took the controversial, yet legal, substance before London 2012 and a Team Sky insider has provided a bottle of ketones from a batch taken by British riders.

TRIATHLON

News Blog Gear Training Competitions Magazine S

When you purchase through links on our site, we may earn an affiliate commiss

Trending Amazon Prime Day Deals US Plus UK Deals How to take part in your first triathlon: all your questions answ

Home / News / Could ketone energy drinks boost your triathlon performance?

News

NEWS

Could ketone energy drinks boost your triathlon performance?

A new ketone energy drink, found to improve endurance performance by changing metabolism, could be available by end of 2016

Should we take exogenous ketones during a long-distance triathlon?

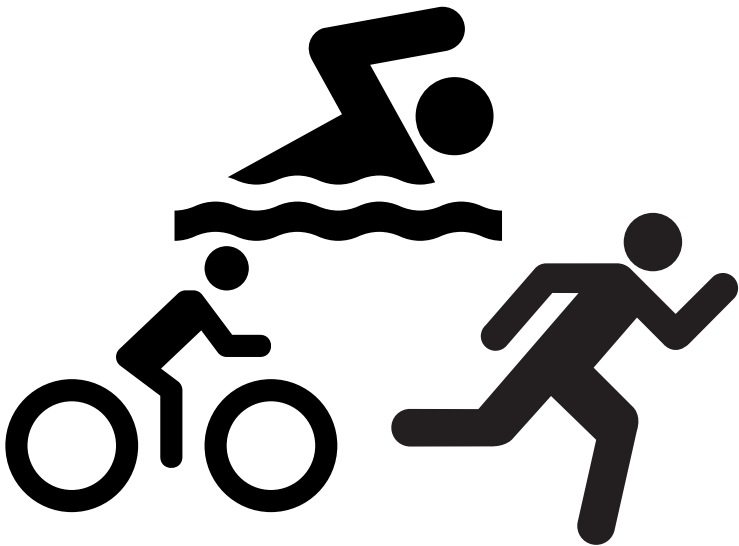
Apr 03, 2020

A male triathlete wearing a black cap and a black tank top is shown from the waist up, leaning forward on a road bike. He is looking down and to the side with a focused expression. The background is a blurred indoor setting, possibly a garage or a training room, with some equipment visible.

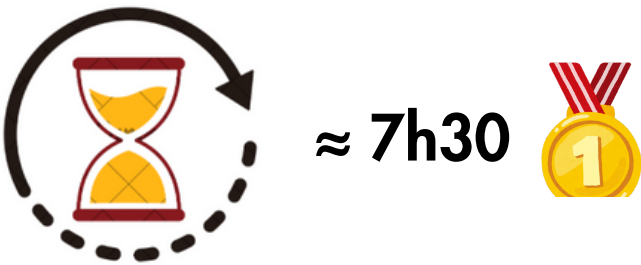
Cox PJ, Kirk T, Ashmore T, et al. Nutritional Ketosis Alters Fuel Preference and Thereby Endurance Performance in Athletes. Cell Metab. 2016;24(2):256-268. doi:10.1016/j.cmet.2016.07.010

CONTEXTE

- Niveau international
- 2 à 3 IRONMAN par saison
- Plusieurs Ironman 70.3
- 20-40h d'entraînement/semaine

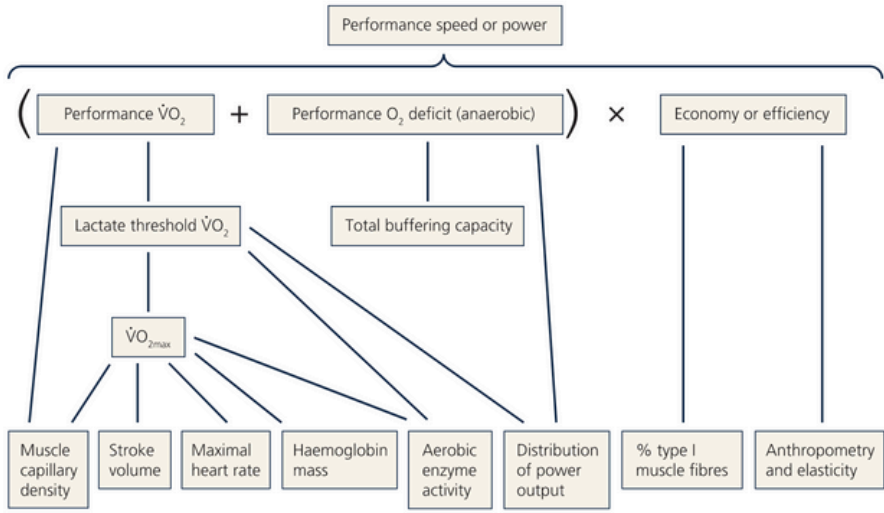


- Épreuve d'ultra-endurance avec enchaînement de 3 disciplines



SAM LAIDLOW

- Caractéristiques supposées :
- 74 kg
 - CS Nat : 1.15/100m
 - CP Vélo : 370w
 - SL1 Vélo : 330w
 - SL1 : 3.55 min/km



Modèle de : Joyner & Coyle, 2007)
Illustration de : Jones, 2024.

LE PROBLÈME

Haute demande énergétique

Dépense énergétique totale sur un IRONMAN
≈ 10 036 kcal

Apport énergétique insuffisant pour combler la DE
≈ 3 000 - 4 000 kcal

Facteur clef de la performance : limiter la déplétion en glycogène

Kimber et al., 2002 ; Ørtenblad et al., 2011; Ørtenblad et al., 2013 ; Kasper et al., 2014 ; Frandsen et al., 2017



Objectif : limiter la déplétion des stocks en glycogène

FAT-adapted ✓

Prise de cétone ?

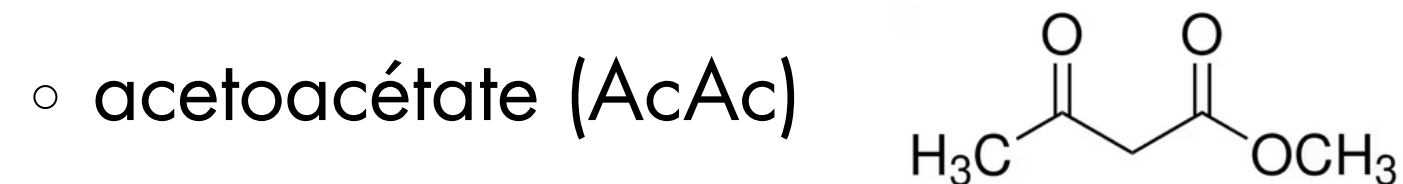
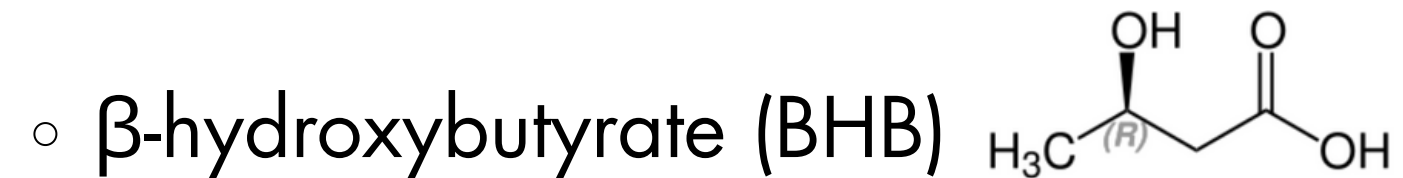
Keto-adapted endogenous

Keto-adapted exogenous

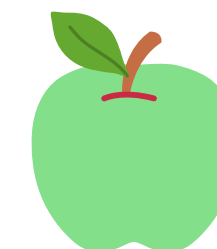


CORPS CETONIQUE : DEFINITION

- **Cétones ou CC** : molécules énergétiques produite par le foie

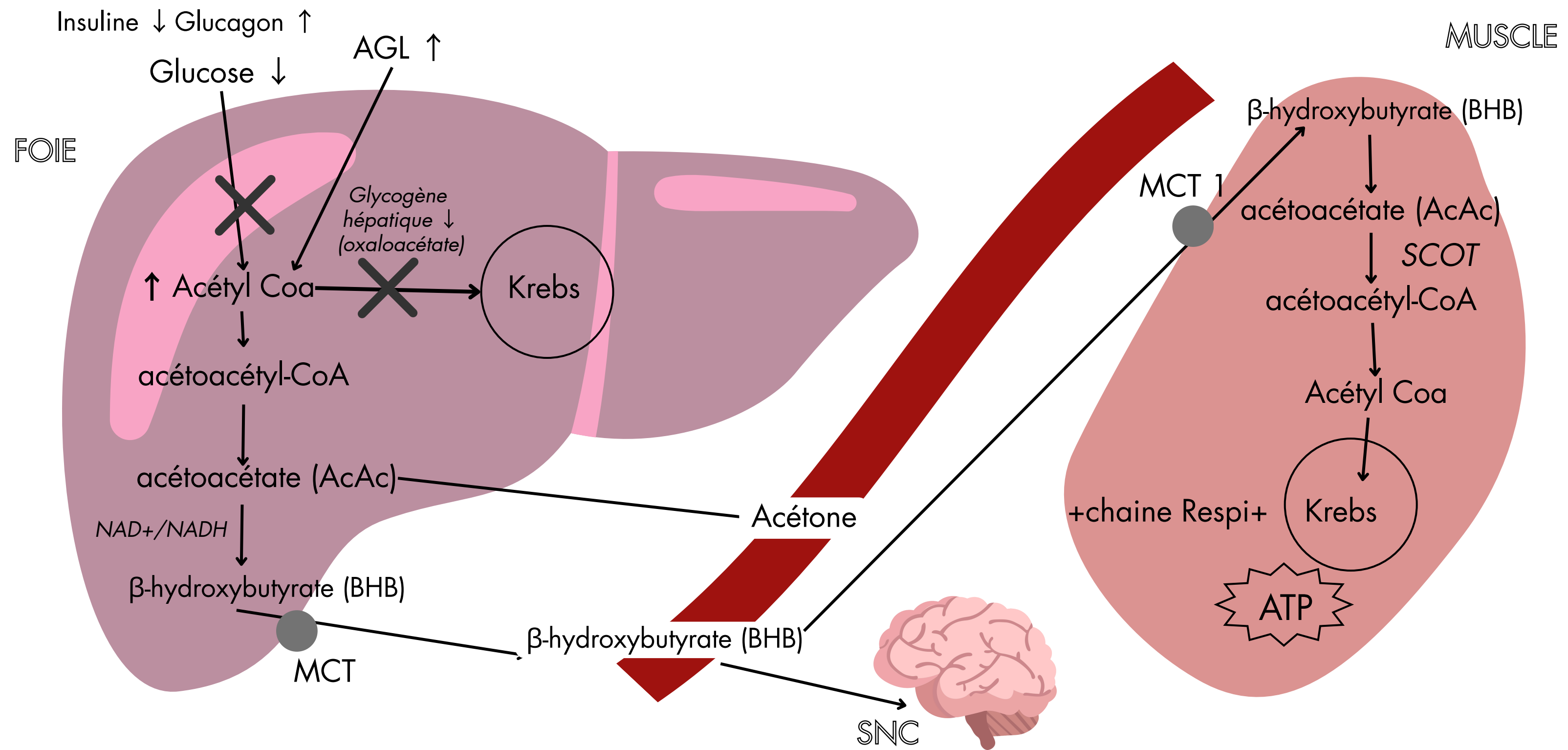


- Substrat énergétique alternatif (cerveau et muscles notamment)
- Présentes en condition physiologique.
- Historiquement, déchet métabolique → urine acidocétose diabétique.



CORPS CETONIQUE : METABOLISME
CETOGENESE HEPATIQUE

CETOLYSE MUSCULAIRE



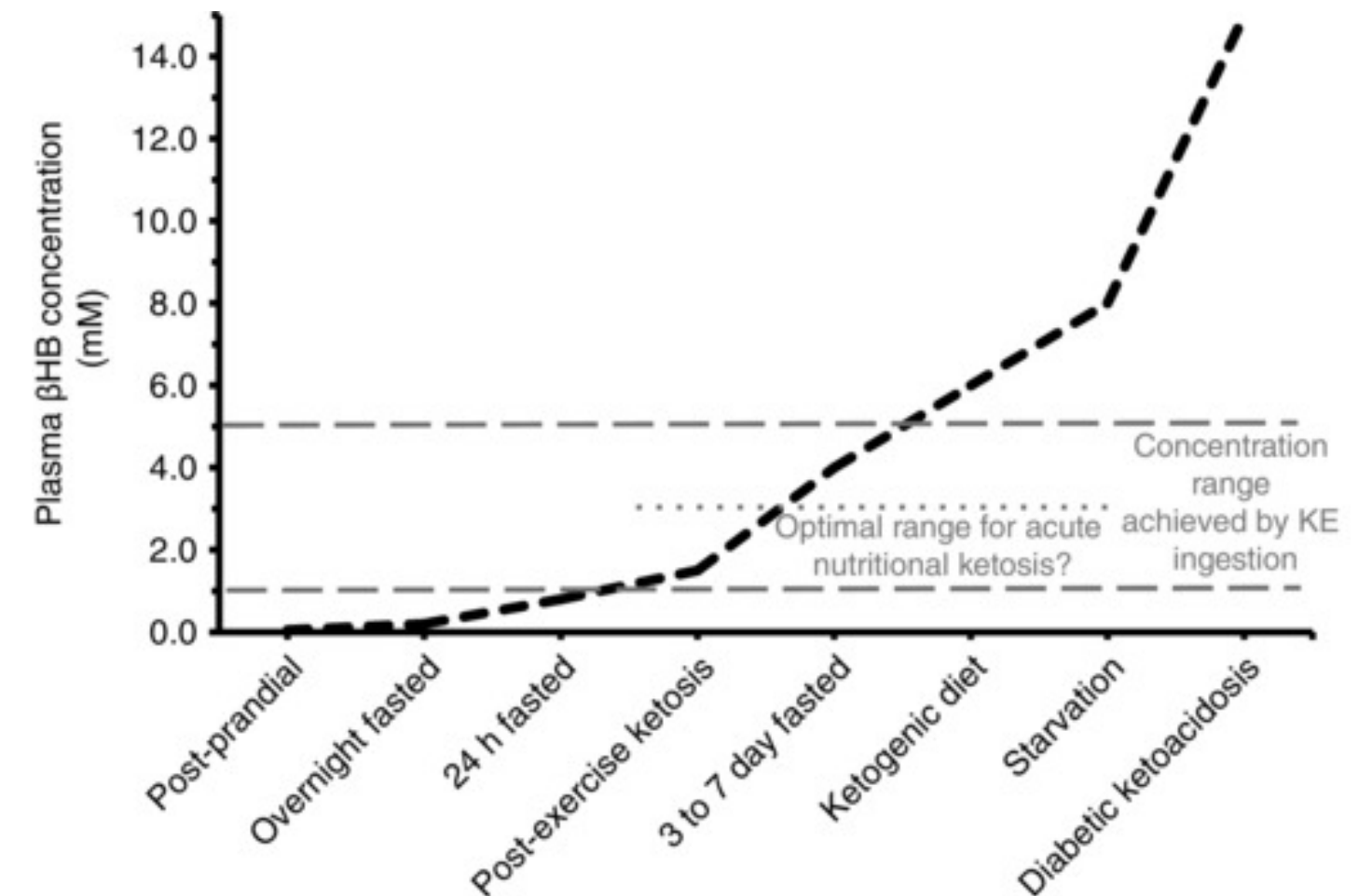
CORPS CETONIQUE : METABOLISME

Théoriquement intéressant !

OBJECTIF : Pour bénéficier de ce substrat, augmenter la concentration sanguine en cétone (niveau cétonémie)

- Concentration sanguine entre 0,1 et 0,5mM/L
→ Peut être influencer par l'entraînement

Pas de consensus certain, mais seuil de cétonémie maximale semble être ~2 ou 2,5 mmol/L .

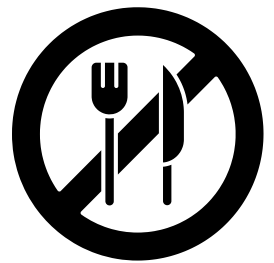


CORPS CETONIQUE : COMMENT AUGMENTER LEUR CONCENTRATION ?



CORPS CETONIQUE : COMMENT AUGMENTER LEUR CONCENTRATION ?

ENDOGENE



Jeûne

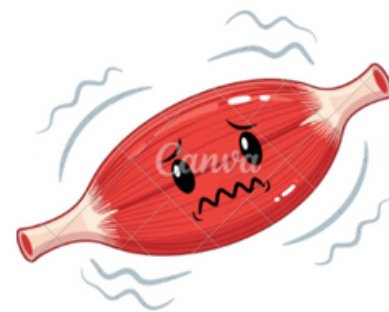
- Une nuit de jeûne => augmentation plasmatique en corps cétonique de 0,1 à 0,5 mmol / L
- 5 jours de jeûne => augmentation plasmatique en corps cétonique de 7 à 10 mmol / L



Régime cétonique

75% des apports
énergétiques sont des lipides

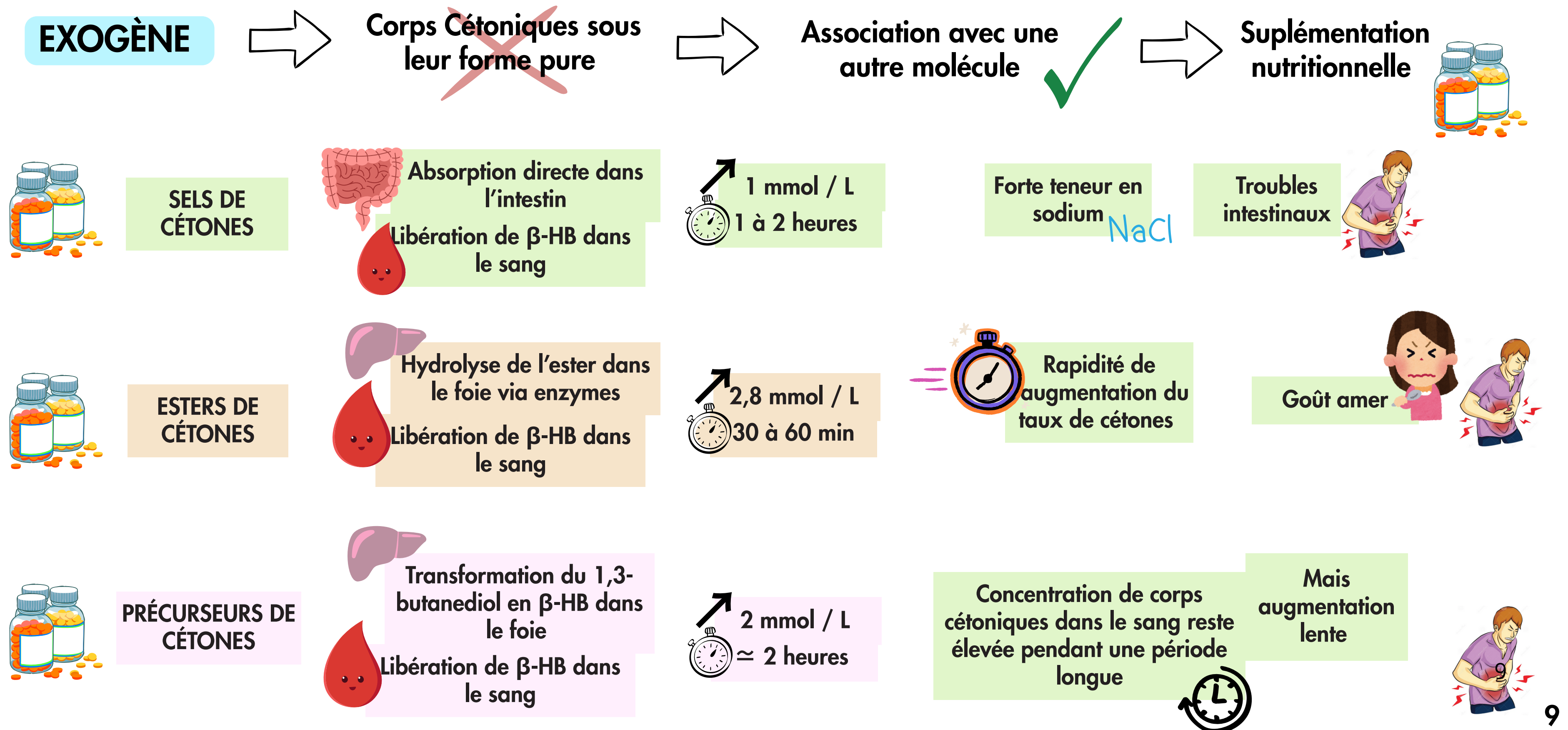
- De 2 à 4 jours => augmentation de 0,8 à 2 mmol / L de cétonique dans le sang
- Restriction glucidique sévère => valeurs pouvant atteindre 8 mmol / L



Limite principale : diminution des réserves en glycogène
→ Problématique au regard des sports d'endurance

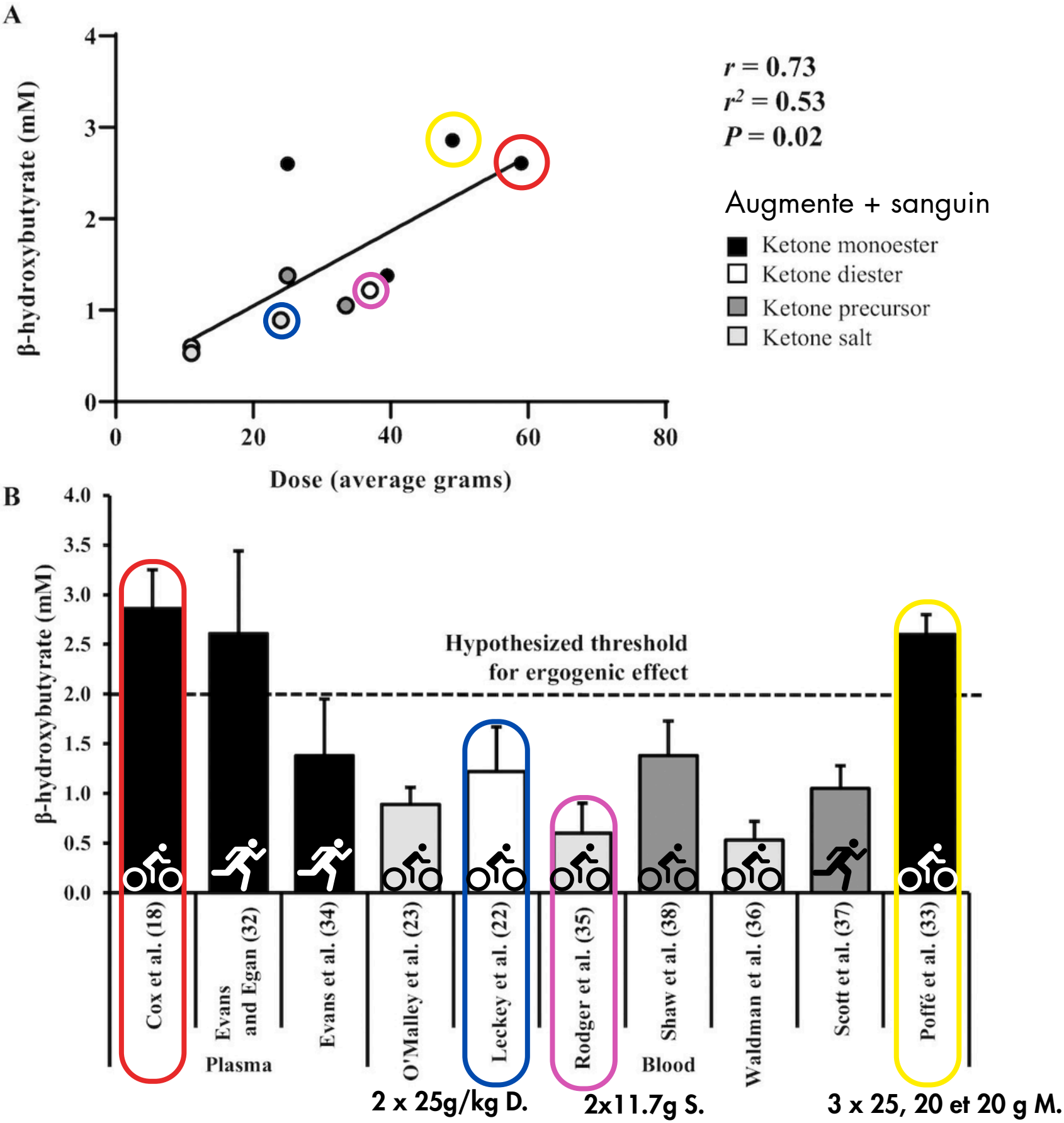
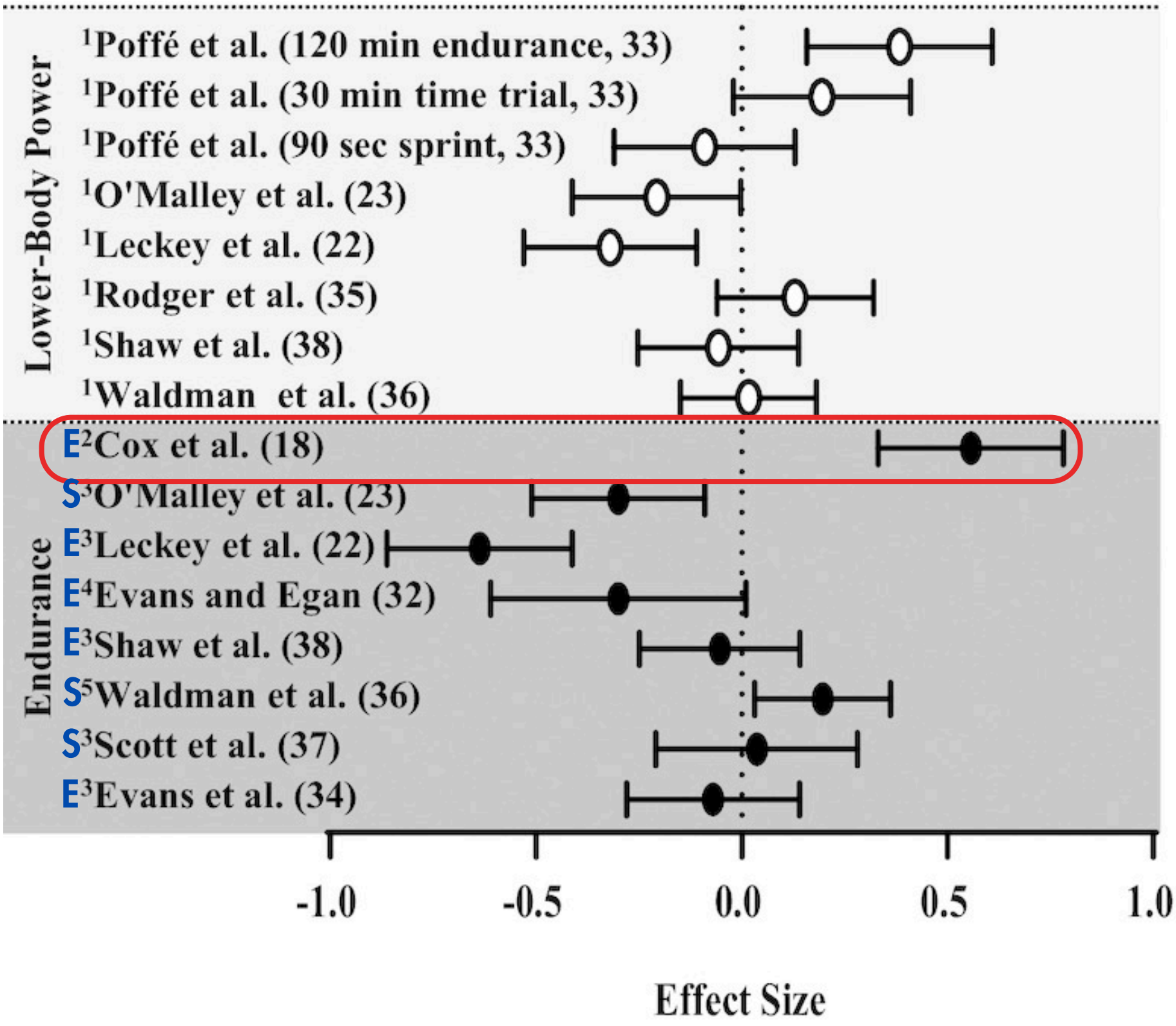
MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES

CORPS CETONIQUE : COMMENT AUGMENTER LEUR CONCENTRATION ?



EFFETS SUR LA PERFORMANCE

META ANALYSE : MARGOLIS (2020)

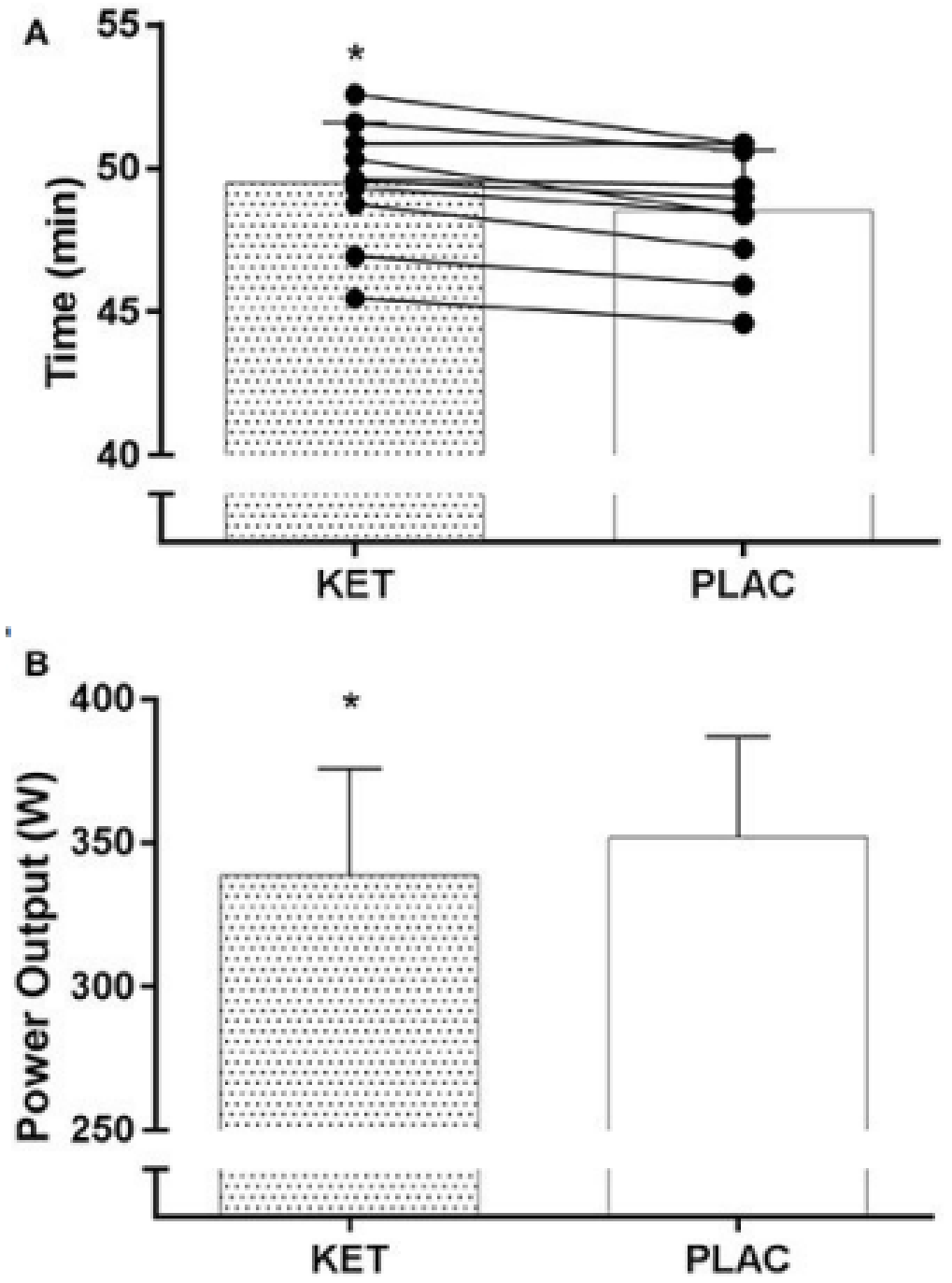
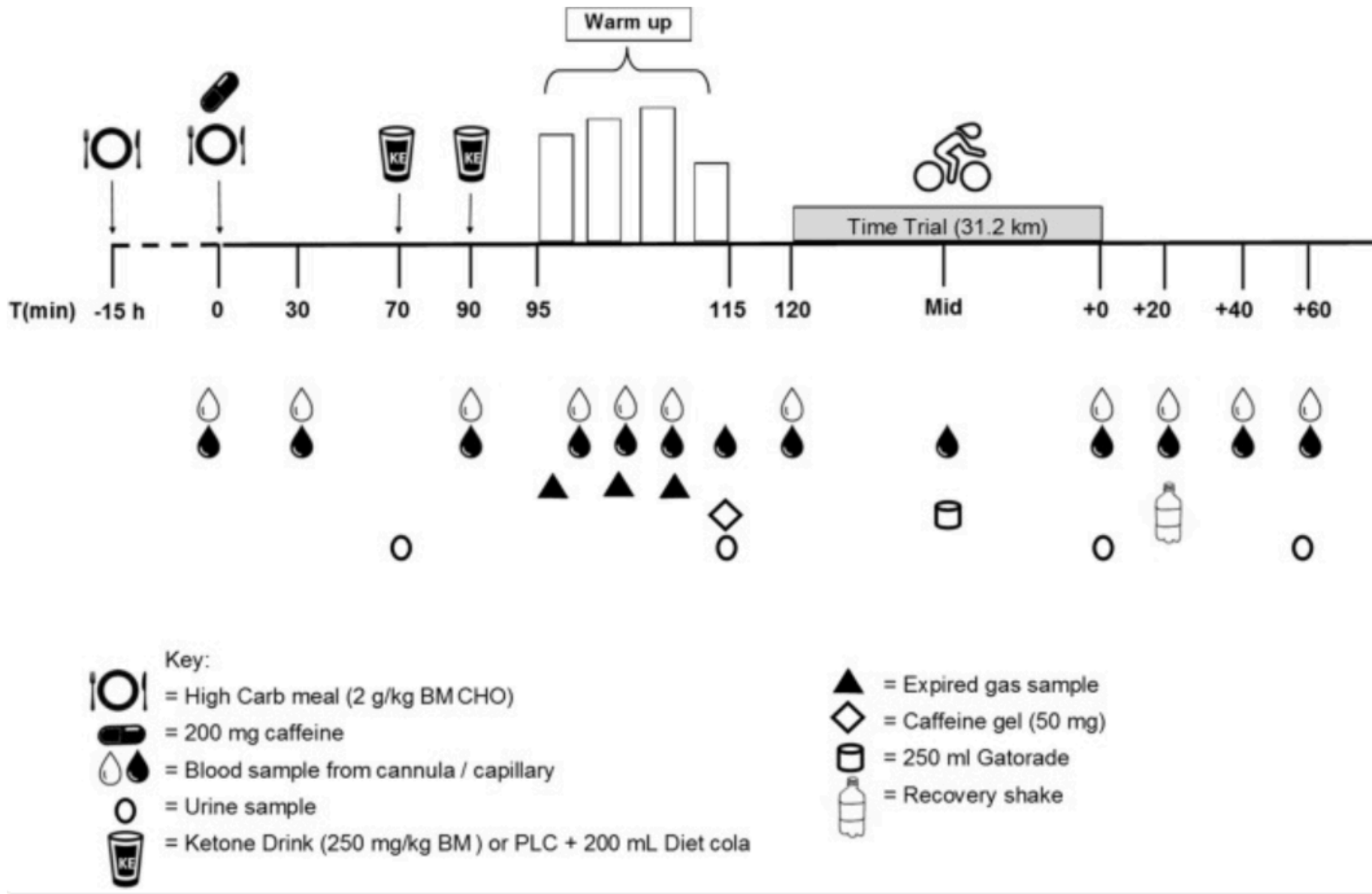


EFFETS SUR LA PERFORMANCE

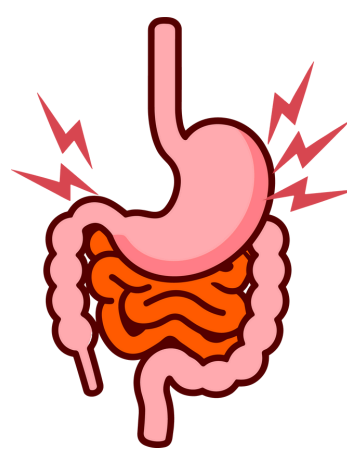
Leckey et al., 2017

11 cyclistes de haut niveau

(KE) le diester acétoacétate-1,3-butanediol vs Placebo (coca)



Les constats



Troubles intestinaux ressentis chez tous les cyclistes.

- Légers (n=2)
- Modérés (n=6)
- Sévères (n=2)
- 🚲 Abandon (n=1)

↑ Performance (groupe placebo)

↓ Puissance (-3,7% - groupe cétones)

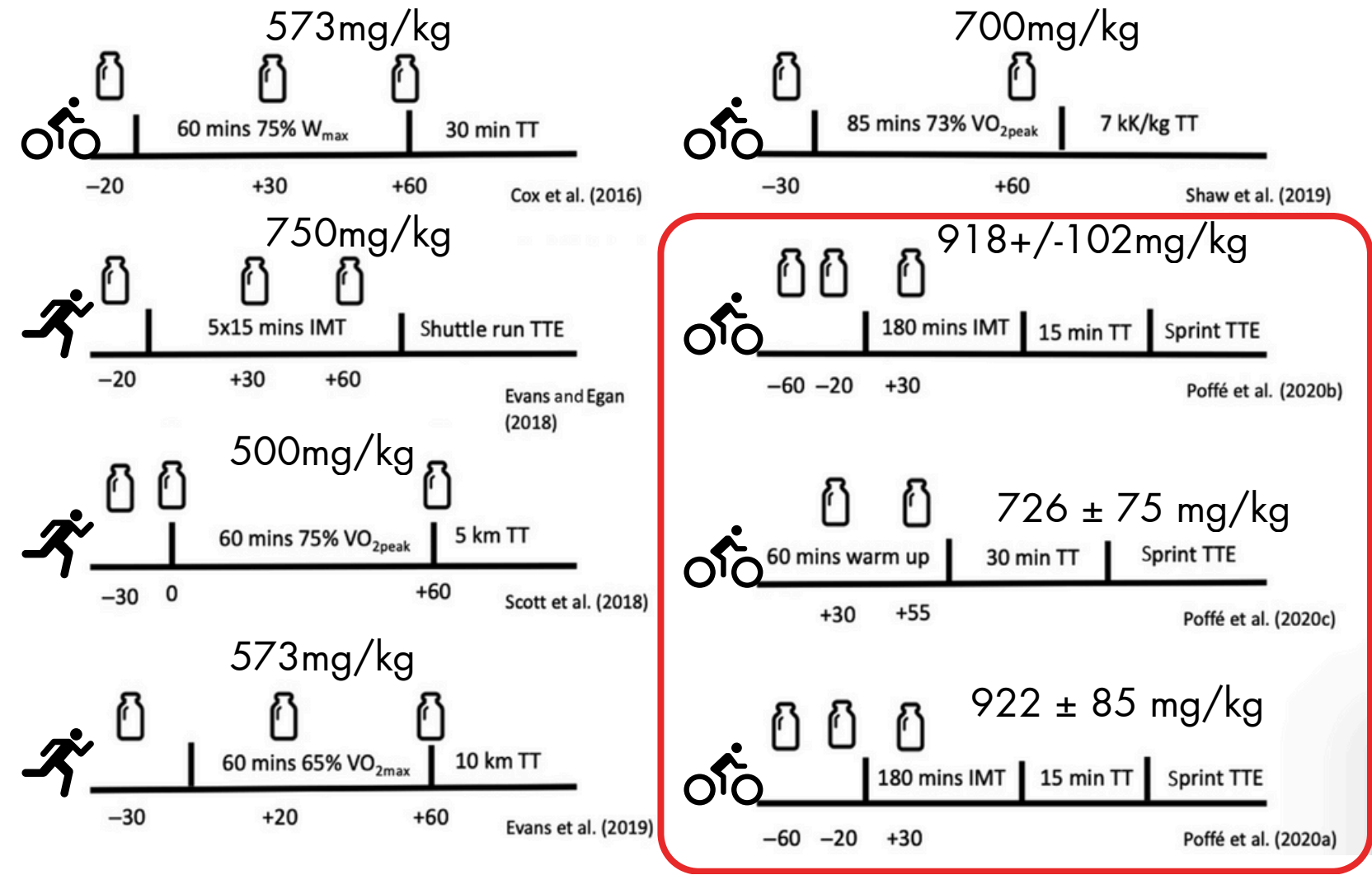
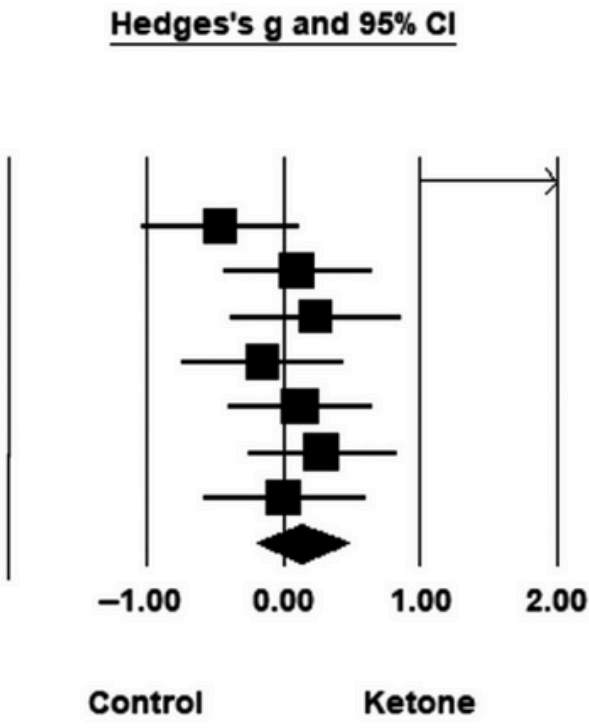
↑ RPE (Groupe cétones)

Pas effet notable des cétones sur la performance

EFFETS SUR LA PERFORMANCE

META ANALYSE : BROOKS (2022)

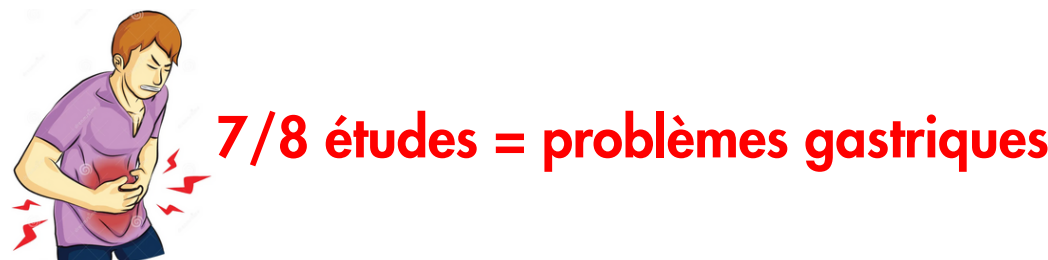
Study name	Statistics for each study				
	Hedges's g	Lower limit	Upper limit	p-Value	Relative weight
Cox et al. (2016)	2.265	0.996	3.535	0.000	5.23
Evans and Egan (2018)	-0.465	-1.044	0.114	0.116	13.39
Scott et al. (2018)	0.101	-0.446	0.649	0.716	14.01
Evans et al. (2019)	0.233	-0.394	0.859	0.466	12.52
Shaw et al. (2019)	-0.155	-0.750	0.439	0.609	13.10
Poffé et al. (2020b)	0.121	-0.407	0.650	0.653	14.38
Poffé et al. (2020c)	0.279	-0.259	0.817	0.309	14.19
Poffé et al. (2020a)	0.000	-0.590	0.590	1.000	13.18
	0.136	-0.195	0.467	0.419	



Détermination / effets sur la PERFORMANCE :

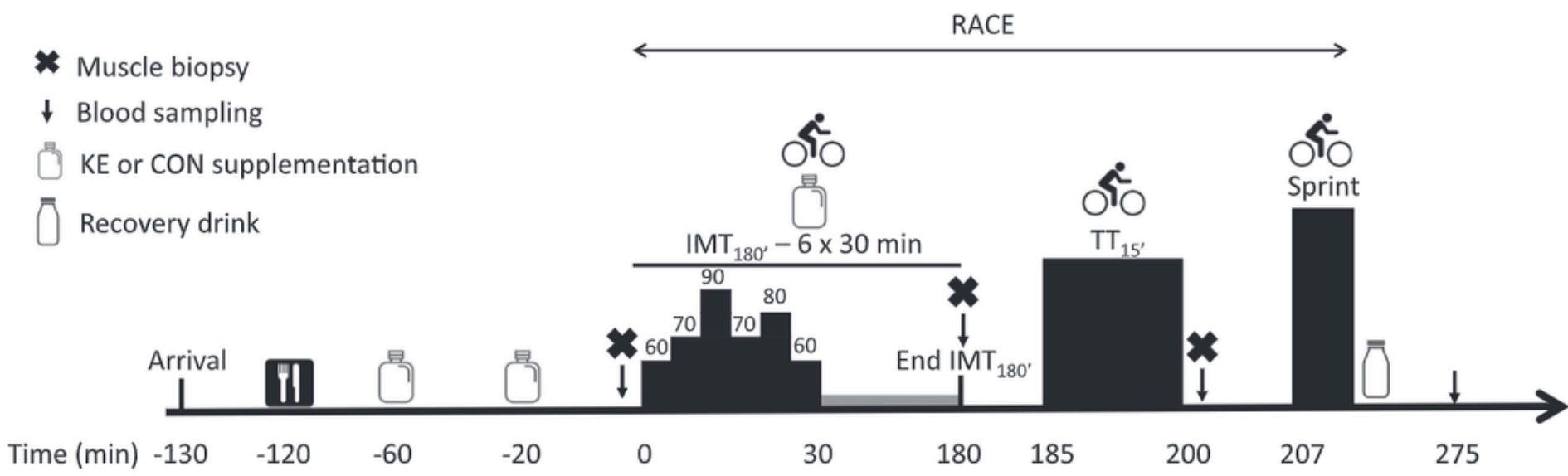
- Temps jusqu'à épuisement (Evans & Egan, 2018 ; Poffé et al., 2020a, 2020b, 2020c) ❌
- Temps clm (Evans et al., 2019 ; Scott et al., 2018 ; Shaw, Merien, Braakhuis, Plews, et al., 2019) ❌
- Distance maximale / 30min clm (Cox et al., 2016) => +2 % (411±162 m) avec KE vs CON. ✅

Effets faibles et non significatifs sur PERFORMANCE ENDURANCE



EFFETS SUR LA PERFORMANCE

Poffé et al., 2020a



12 cyclistes et triathlètes (Très entraînés)

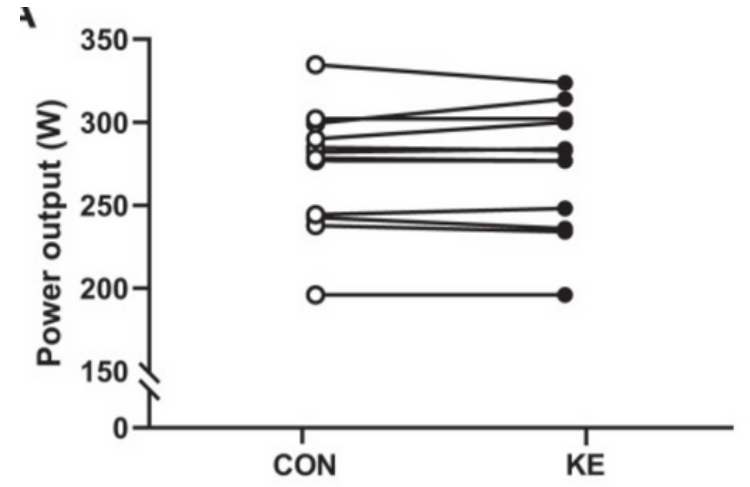
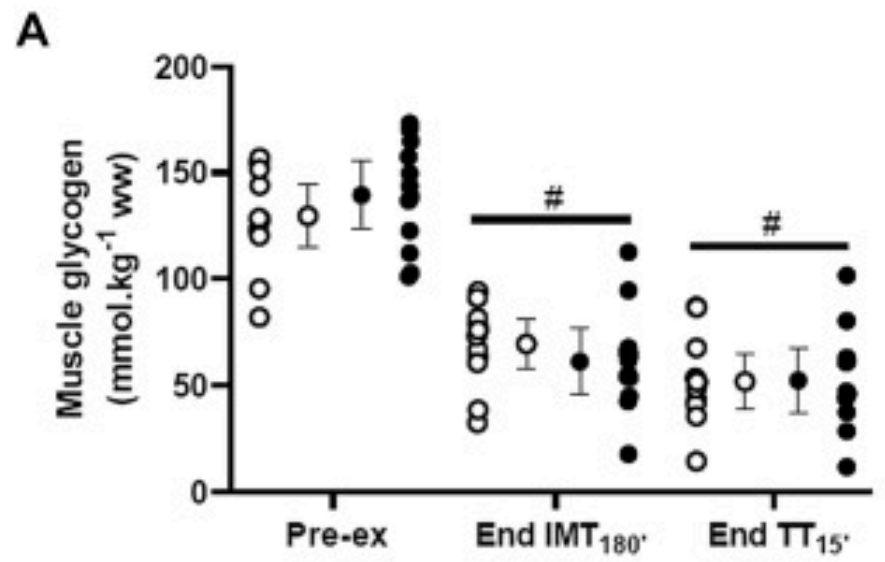
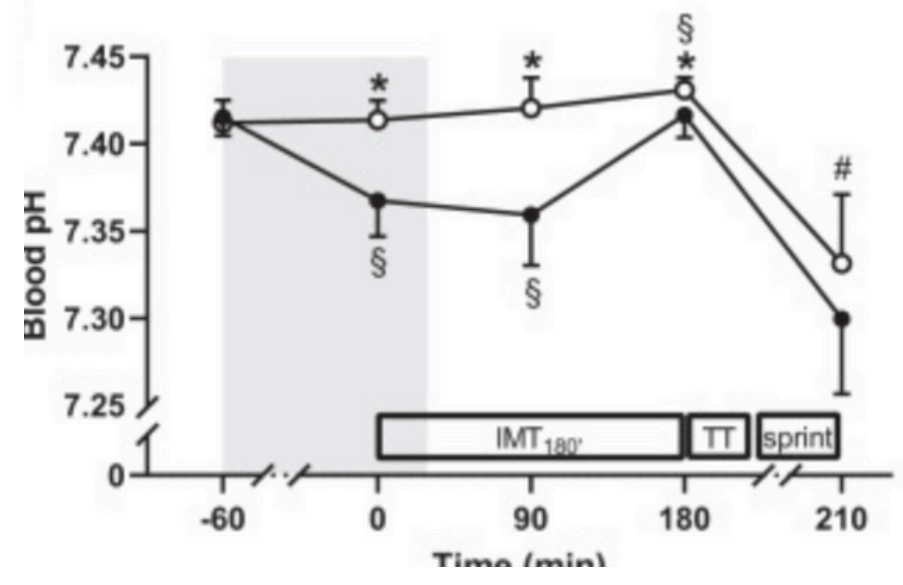
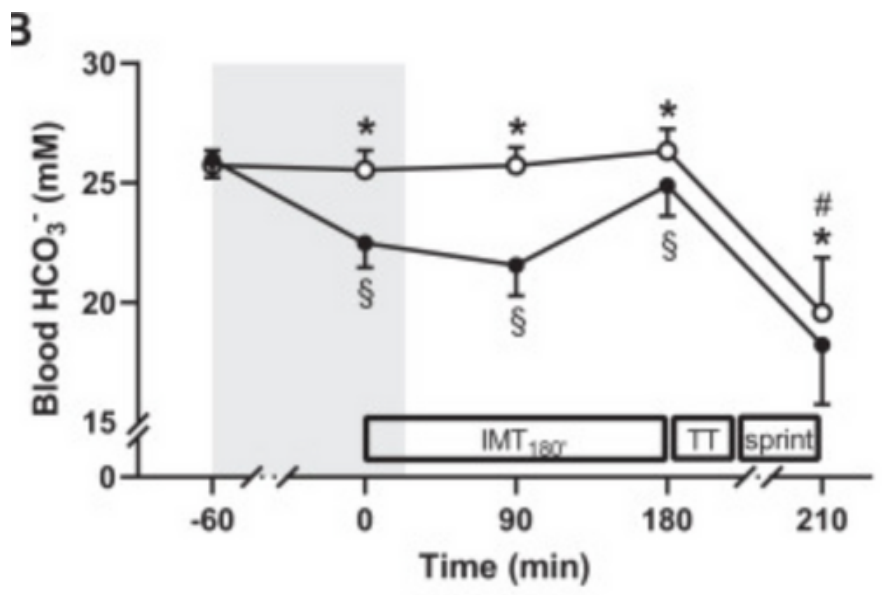
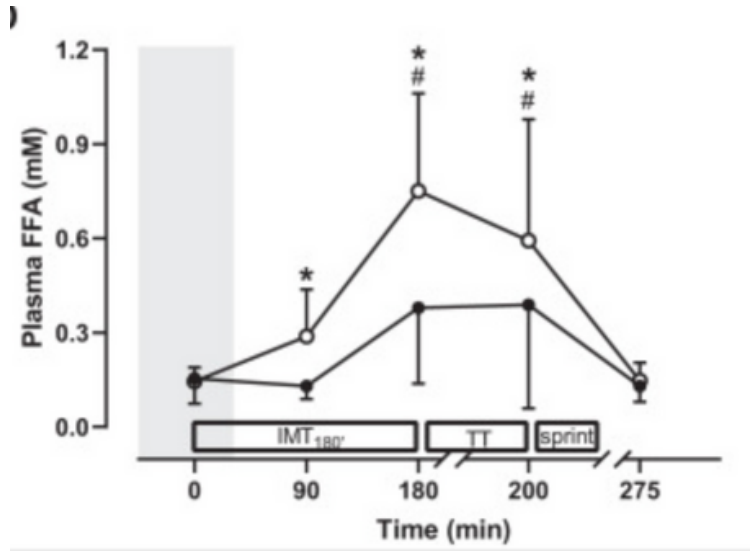
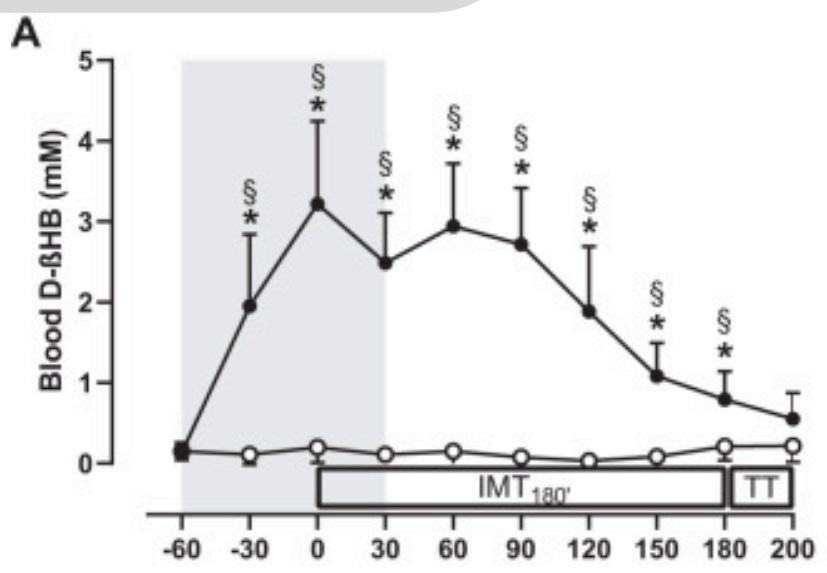
KE ((R)-3-hydroxybutyl (R)-3-hydroxybutyrate vs CON (Placebo)

Les constats

- ↑ [Cétone sanguine]
- ↓ PH sanguin
- ↓ [HCO₃⁻]
- ↓ FFA plasmatique

Pas d'appétit post-effort

- Aucune différence
- Dégradation du glycogène
 - Puissance moyenne produite
 - RPE



BILAN : EFFETS SUR LA PERFORMANCE

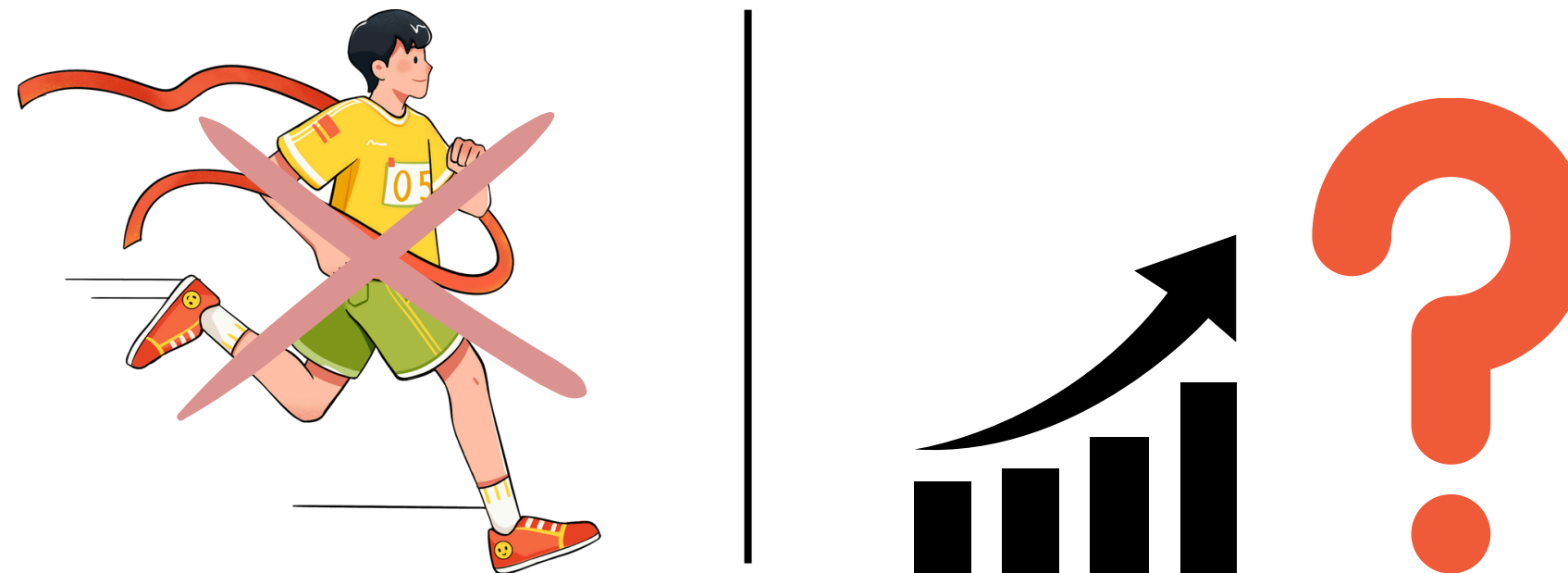
Effets sur la performance

- Au regard de littérature actuelle : pas d'effet sur la performance d'endurance voir effet négatif
 - Seul étude ayant trouver des résultats significatifs (Cox et al., 2016) avec protocole différent
 - biais de première de publication
- Conflit d'intérêt : entreprise deltagketones.com, filiale de l'université d'Oxford
- Comme pour toute aide ergogénique ou stratégie nutritionnelle => **dosage**, la **quantité** et le **moment**.

Limites

- Trouble GI important ! Non négligeable en sport d'endurance !
- Littérature confuse avec un manque de recul

At present, we speculate that this exists between 1 and 3 mM β HB. As with many ergogenic acids, more is unlikely to be better and may even be deleterious given the potential for acidosis at higher [KB], and aforementioned gastrointestinal distress and other side-effects sometimes observed with KE, so careful consideration should be given to these issues.



EFFETS POST EXERCICE

Reviews : Robberechts and Poffé (2024) / Evans, Cogan and Egan (2016)

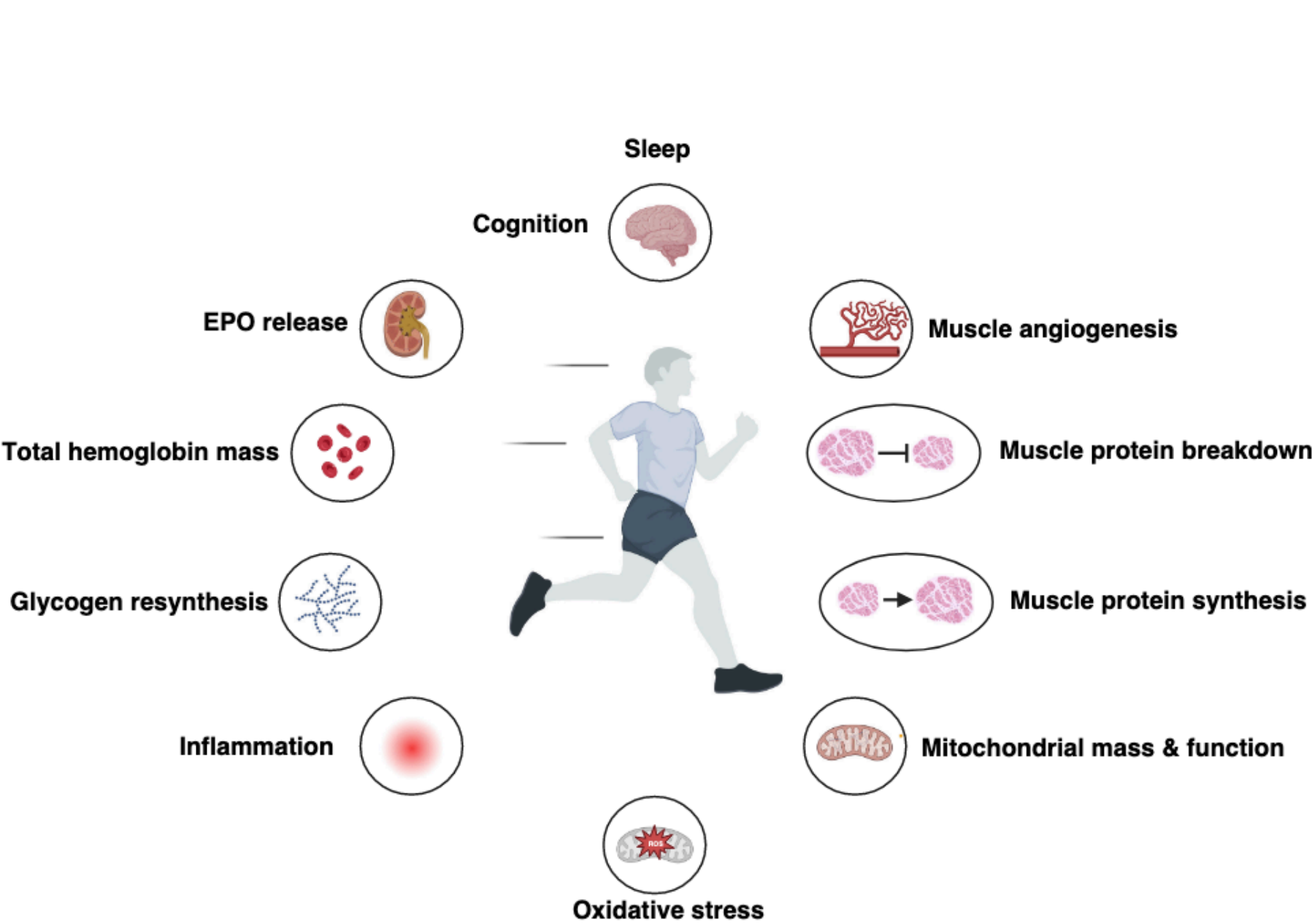


Figure 4. Overview of the different physiological effects by which postexercise ketosis can potentially improve exercise recovery and training adaption. Scientific evidence indicates that ketone bodies may improve sleep and cognition, increase skeletal muscle angiogenesis, muscle protein synthesis, glycogen resynthesis, and mitochondrial mass and function, reduce skeletal muscle protein breakdown, oxidative stress and inflammation, and increase circulating erythropoietin (EPO) levels and total hemoglobin mass. Figure created with BioRender.com.

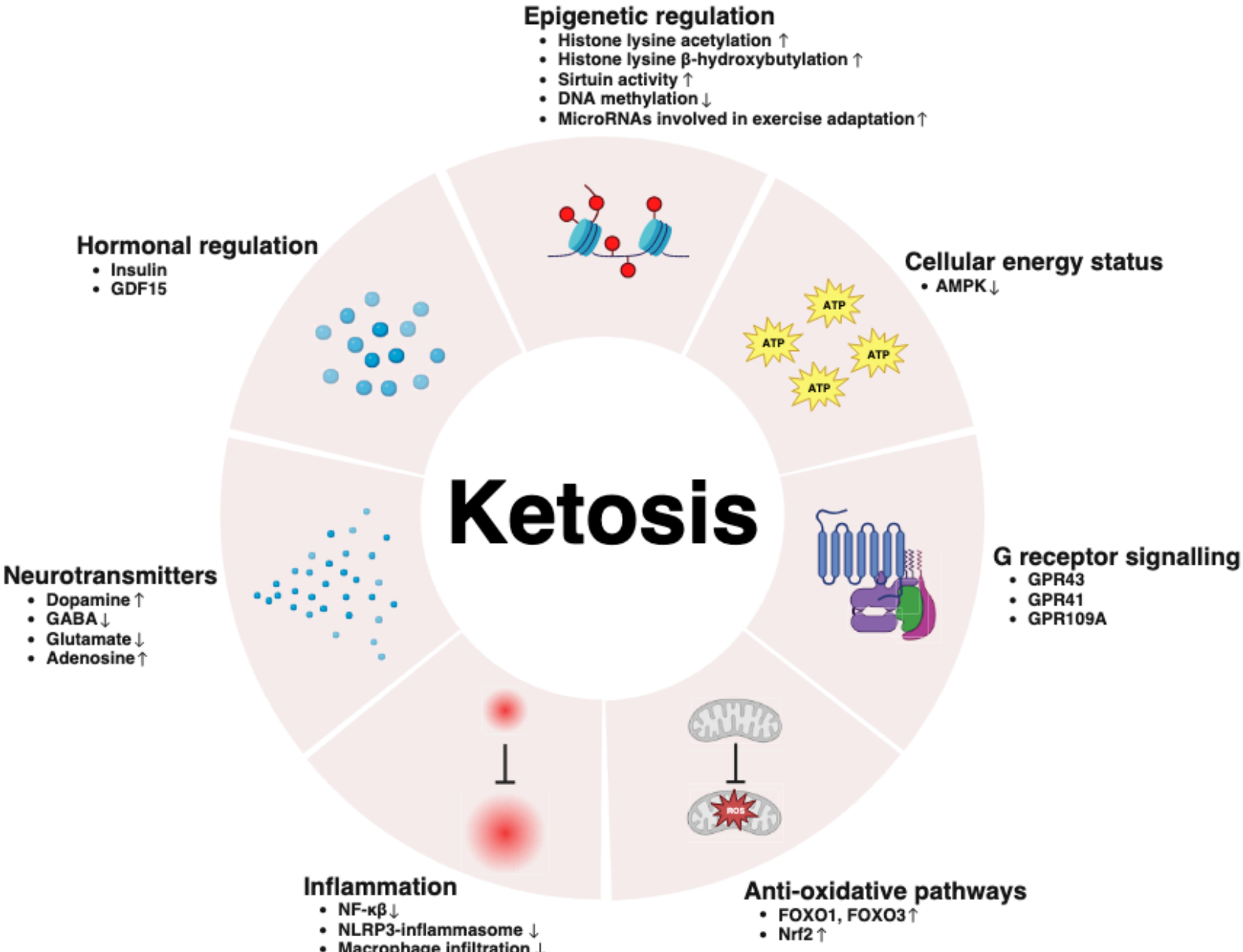


Figure 3. Overview of the potential physiological mechanisms by which the ketone bodies β-hydroxybutyrate and acetoacetate can improve exercise recovery and training adaptations. These mechanisms include hormonal and epigenetic regulation, alteration of energy metabolism, rapid recovery of cellular energy status, G receptor signaling, and modulation of antioxidative and anti-inflammatory pathways, and brain neurotransmitter levels. FOXO1, forkhead box protein O1; GABA, gamma-aminobutyric acid; NF-κB, nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells; NLRP3, NLR family pyrin domain containing 3; Nrf2, nuclear factor erythroid 2-related factor 2. Figure created with BioRender.com.

EFFETS POST EXERCICE

Reviews : Robberechts and Poffé (2024) / Evans, Cogan and Egan (2016)

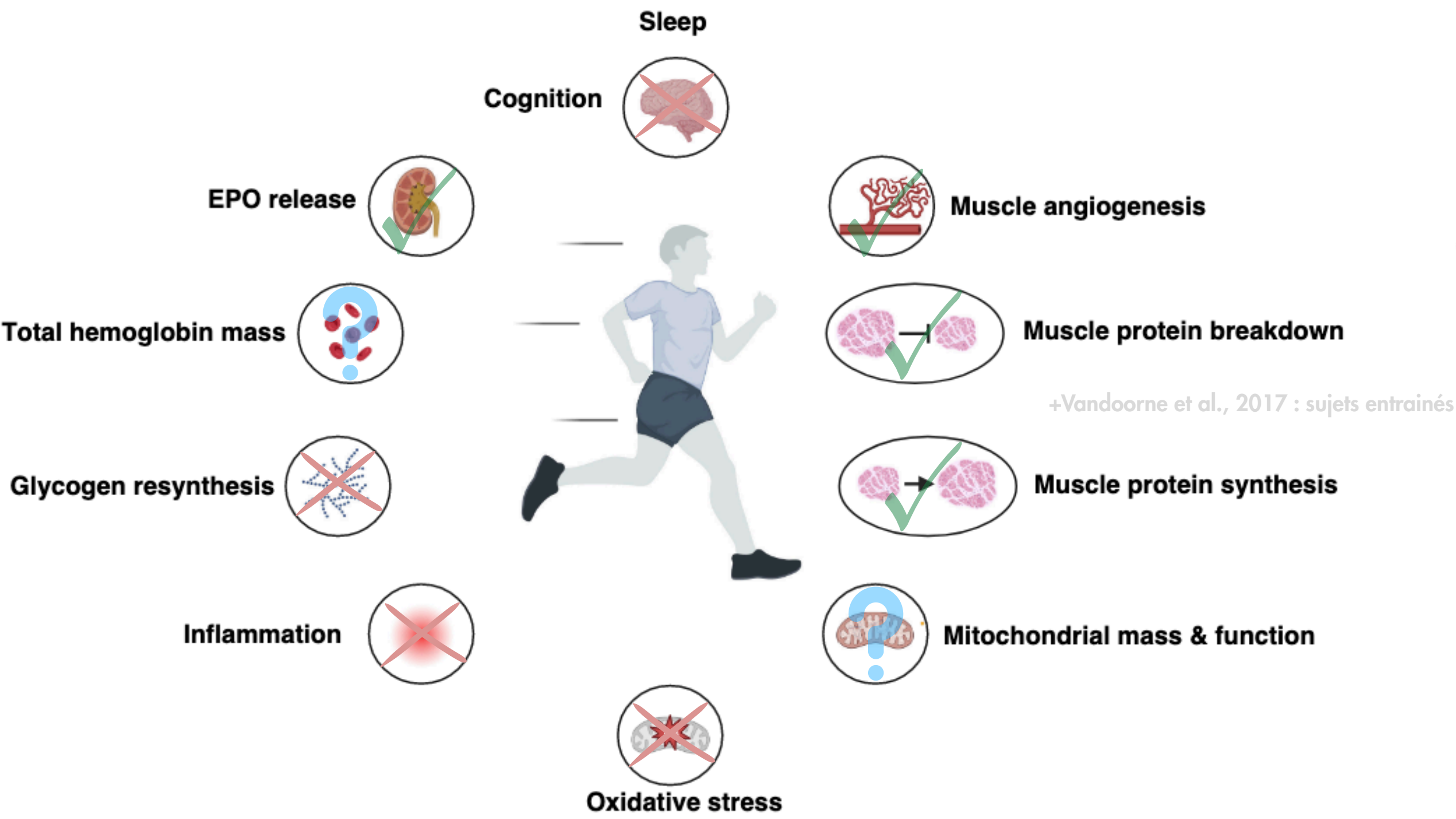


Figure 4. Overview of the different physiological effects by which postexercise ketosis can potentially improve exercise recovery and training adaption. Scientific evidence indicates that ketone bodies may improve sleep and cognition, increase skeletal muscle angiogenesis, muscle protein synthesis, glycogen resynthesis, and mitochondrial mass and function, reduce skeletal muscle protein breakdown, oxidative stress and inflammation, and increase circulating erythropoietin (EPO) levels and total hemoglobin mass. Figure created with BioRender.com.

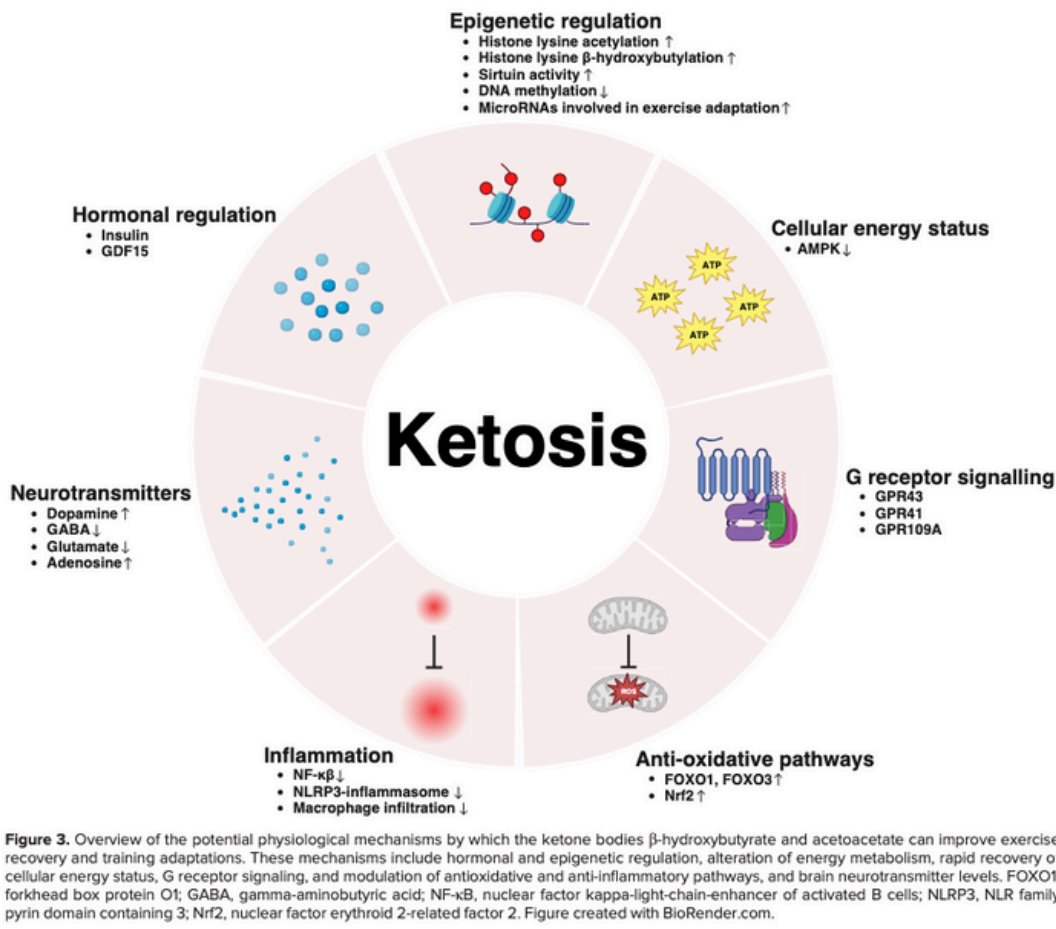


Figure 3. Overview of the potential physiological mechanisms

EFFETS POST EXERCICE

Poffé et al., 2019

Atténuation des symptômes de surmenage, **sujets non entraînés**

Poffé et al., 2023

Charge d'entraînement excessive → inhibition de la capillarisation

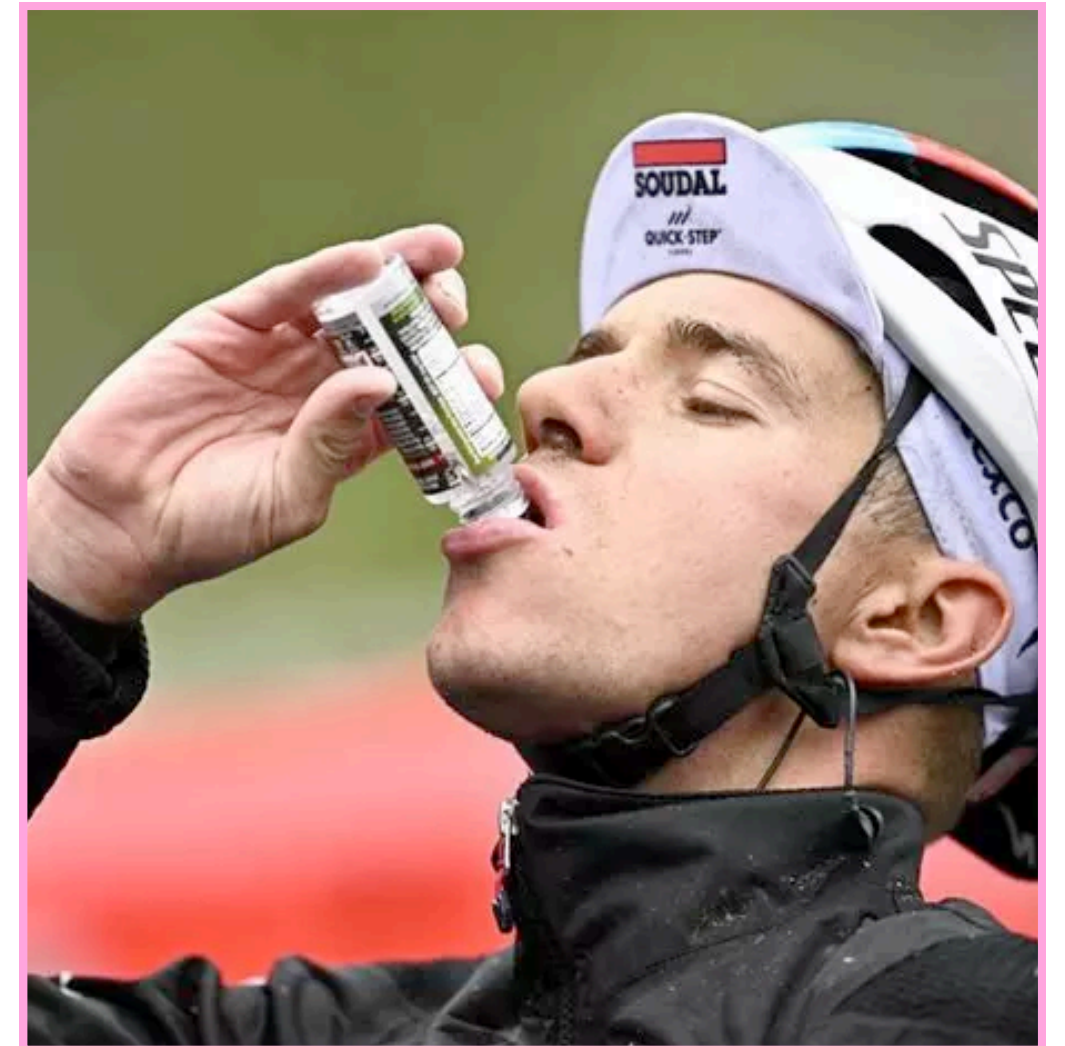
Ainsi la prise de cétone (25g post ox + pre sleep), chez des **sujets non entraînés** :

- Augmentation d'EPO circulant
 - effet sur les facteurs pro-angiogéniques
 - effet hématopoïétique notamment sur érythropoïèse ?
- Stimulation des facteurs pro-angionéniques (VEFG, eNOS...)
- Augmentation de la capillarisation des muscles squelettiques (+40% par rapport à CON)

Effets sur des sujets entraînés ?

Evans et al., 2023

Ingestion de cétone monoester post-exercice augmente l'EPO circulant chez des sujets **non entraînés**.



Cause ?

- Oxydation CC endothéliale accrue
- Activation GPR43 (récepteur), NRF2 (facteur de transcription)...
- Stimulation de l'EPO

CETONE → ↑EPO = potentielle augmentation masse GB
MANQUE DE DONNÉES SUR DES SUJETS ENTRAÎNÉS !

TAKE HOME MESSAGE POUR SAM LAIDLLOW

LA SUPPLÉMENTATION EN CÉTONE :

POURQUOI ?

Augmente le taux sanguin en BetaHB
→ cétose nutritionnelle aiguë

Effets ergonéiques **théoriquement intéressant** :

- Substrat alternatif, limitant déplétion en glycogène
- Potentiel modulateur des réponses et des adaptations à l'entraînement

= Augmentation de la performance sportive / récupération à l'entraînement ?

~~OUI ?~~

NON !

Mécanismes prometteurs mais résultats mitigés !

Pré-exo

Preuve scientifique faible

En général pas d'amélioration de la performance

Troubles GI impactant négativement la performance

Potentielle limitateur de la glycolyse

Post-exo

Preuve scientifique plus forte

Potentiels effets sur les certaines adaptations :

Augmentation de la capillarisation / EPO circulant

Manque de preuve concrète, notamment sur SHN

Coût très important (≈800e/Litre)

Manque de preuve / Population non entraînée / Manque de recul scientifique

QUOI ?

Ester > Sels

QUAND ?

Effets potentiels supérieur en post-exercice

Attention aux
conflits d'intérêts !
(ex : Cox et al.
2016)



- Diversifier les substrats et tester différentes quantités de chacun d'entre eux
- Réaliser des études sur des efforts plus longs
- Tester les effets de la prise de cétones sur la récupération sur des sujets entraînés



BIBLIOGRAPHIE

- Bigard, X. (2019). Les corps cétoniques et les performances en endurance. Qu'en penser en 2019 ? *Science & Sports*, 34(6), 361-373. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.10.002>
- Brooks, E., Lamothe, G., Nagpal, T. S., Imbeault, P., Adamo, K., Kara, J., & Doucet, É. (2022). Acute Ingestion of Ketone Monoesters and Precursors Do Not Enhance Endurance Exercise Performance : A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32(3), 214-225. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0280>
- Cox, P. J., Kirk, T., Ashmore, T., Willerton, K., Evans, R., Smith, A., Murray, A. J., Stubbs, B., West, J., McLure, S. W., King, M. T., Dodd, M. S., Holloway, C., Neubauer, S., Drawer, S., Veech, R. L., Griffin, J. L., & Clarke, K. (2016). Nutritional Ketosis Alters Fuel Preference and Thereby Endurance Performance in Athletes. *Cell Metabolism*, 24(2), 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.07.010>
- Evans, M., Cogan, K. E., & Egan, B. (2017). Metabolism of ketone bodies during exercise and training : Physiological basis for exogenous supplementation. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2857-2871. <https://doi.org/10.1113/JP273185>
- Evans, M., McClure, T. S., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2022). Exogenous Ketone Supplements in Athletic Contexts : Past, Present, and Future. *Sports Medicine*, 52(S1), 25-67. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01756-2>
- Leckey, J. J., Ross, M. L., Quod, M., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (2017). Ketone Diester Ingestion Impairs Time-Trial Performance in Professional Cyclists. *Frontiers in Physiology*, 8, 806. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00806>
- Margolis, L. M., & O'Fallon, K. S. (2020). Utility of Ketone Supplementation to Enhance Physical Performance : A Systematic Review. *Advances in Nutrition*, 11(2), 412-419. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz104>
- Poffé, C., Ramaekers, M., Bogaerts, S., & Hespel, P. (2020). Exogenous ketosis impacts neither performance nor muscle glycogen breakdown in prolonged endurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 128(6), 1643-1653. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00092.2020>
- Poffé, C., Ramaekers, M., Bogaerts, S., & Hespel, P. (2021). Bicarbonate Unlocks the Ergogenic Action of Ketone Monoester Intake in Endurance Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(2), 431-441. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002467>
- Poffé, C., Wyns, F., Ramaekers, M., & Hespel, P. (2021). Exogenous Ketosis Impairs 30-min Time-Trial Performance Independent of Bicarbonate Supplementation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(5), 1068-1078. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002552>
- Robberechts, R., & Poffé, C. (2024). Defining ketone supplementation : The evolving evidence for postexercise ketone supplementation to improve recovery and adaptation to exercise. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 326(1), C143-C160. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00485.2023>