

# Nutrition tactics to improve post-exercise recovery

## Citation for published version (APA):

Trommelen, J. (2019). *Nutrition tactics to improve post-exercise recovery*. Gildeprint Drukkerijen. <https://doi.org/10.26481/dis.20191003jt>

## Document status and date:

Published: 01/01/2019

## DOI:

[10.26481/dis.20191003jt](https://doi.org/10.26481/dis.20191003jt)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Summary

Nutritional intake is an important factor that can modulate exercise performance and recovery. Carbohydrate is the main fuel source during prolonged moderate- to high- intensity exercise. The ergogenic effect of carbohydrate feeding during prolonged moderate- to high-intensity exercise has been well-established. In addition, carbohydrate ingestion represents the most important factor in post-exercise muscle glycogen repletion. Besides the repletion of muscle glycogen stores, skeletal muscle damage repair and reconditioning are important determinants of post-exercise recovery. A single session of exercise stimulates muscle protein synthesis rates. However, the muscle protein net balance will remain negative in the absence of food intake. Protein ingestion stimulates muscle protein synthesis rates, allowing for a positive (post-exercise) muscle protein balance. Multiple factors have been identified that can modulate the post-exercise muscle protein synthetic response to exercise including the amount, type, timing, and distribution of protein ingestion. However, the optimal composition and timing of nutritional intake following exercise remains to be determined. In this thesis, we elaborate on the implications of carbohydrate and protein ingestion as nutritional interventions to improve post-exercise recovery.

Exogenous glucose oxidation rates are restricted to  $\sim 1 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$  even when greater amounts of glucose or glucose polymers are ingested. The rate of exogenous glucose oxidation appears to be limited by the intestinal absorption of glucose. However, fructose co-ingestion can further increase exogenous carbohydrate oxidation rates, which likely can be attributed to distinct intestinal transport routes of glucose and fructose. In **chapter 2**, we assessed the impact of fructose co-ingestion provided either as a monosaccharide or as part of the disaccharide sucrose on exogenous carbohydrate oxidation rates during prolonged exercise in trained cyclists. We demonstrate that sucrose co-ingestion results in similar exogenous carbohydrate oxidation rates when compared to the combined ingestion of glucose and fructose when total monosaccharide content is matched. These data suggest that sucrose represents an effective carbohydrate source to provide multiple transportable carbohydrates during exercise.

The ergogenic properties of carbohydrate ingestion during prolonged ( $\geq 2 \text{ h}$ ), endurance-type exercise have been well-established. However, carbohydrate ingestion has also been shown to improve performance during high-intensity exercise of a relative short duration ( $\leq 60 \text{ min}$ ), despite that endogenous carbohydrate stores should not be a limiting factor for performance during exercise of such a short duration. This ergogenic effect is now generally attributed to carbohydrate sensing in the oral cavity, as carbohydrate mouth rinsing has been shown to improve exercise capacity and performance during exercise lasting  $\sim 60 \text{ min}$ . In **chapter 3**, we assessed the impact of sucrose mouth rinsing on cycling time-trial performance in the fasted and fed state. Sucrose mouth rinsing did not improve time-trial performance in either the fasted or the fed state. Therefore, it remains questionable whether carbohydrate mouth rinsing is truly ergogenic, and if so, under which conditions.

Carbohydrate intake is important for maximizing post-exercise muscle glycogen repletion rates. In **chapter 4**, we assessed the impact of combining glucose and fructose ingestion on post-exercise muscle glycogen repletion rates. Because of the distinct transport routes of glucose and fructose, we hypothesized that fructose co-ingestion would further increase total carbohydrate absorption rates and, therefore, accelerate muscle glycogen repletion rates. While we did not observe an increase in muscle glycogen repletion rates, fructose co-ingestion resulted in less gastrointestinal distress when

compared to the ingestion of an isocaloric amount of glucose. Therefore, fructose co-ingestion may facilitate the capacity to achieve optimal carbohydrate intake during recovery from exhaustive exercise.

Whereas carbohydrate intake primarily impacts acute exercise performance and fuel availability, protein ingestion is essential to repair post-exercise muscle damage and optimize the adaptive response to exercise training. Therefore, in **chapter 5**, we assessed the daily protein intake and the distribution of protein ingestion in a large cohort of well-trained Dutch athletes. We observed that Dutch athletes habitually consume  $>1.2$  g protein $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ d $^{-1}$ , of which slightly more than half (57%) coming from animal-based protein sources. However, closer evaluation revealed that protein intake was below the recommend 20 g per meal for 58% of the athletes at breakfast and 36% at lunch. In addition, only  $\sim$ 7 g protein was consumed as part of an evening snack. These data suggest that daily protein intake distribution and in particular pre-sleep protein ingestion may represent overlooked opportunities for athletes to optimize skeletal muscle reconditioning.

Previous work has shown that dietary protein-derived amino acids are more directed towards activated muscle compared to non-activated muscle during the first few hours of post-exercise recovery. In **chapter 6**, we assessed whether resistance-type exercise performed in the evening (19:45-20:45 h) increases the overnight muscle protein synthetic response to pre-sleep (23:30 h) protein ingestion. We observed that resistance-type exercise performed in the evening augments the overnight muscle protein synthetic response to pre-sleep protein ingestion (i.e., when compared to resting conditions) and allows more of the ingested protein-derived amino acids to be used for *de novo* muscle protein synthesis during overnight sleep. These findings support the notion that exercise sensitizes muscle tissue to the anabolic properties of protein ingestion beyond the acute, 4-6 h post-exercise period. Consequently, combining resistance-type exercise with pre-sleep protein ingestion may represent an effective strategy to maximize overnight skeletal muscle reconditioning.

Previous research has shown that pre-sleep ingestion of 40 g protein increases muscle protein synthesis rates during overnight recovery. In **chapter 7**, we assessed the impact of ingesting a more moderate 30 g protein with and without 2 g additional free leucine prior to sleep on overnight muscle protein synthesis during post-exercise overnight recovery. The ingestion of 30 g protein improved whole-body protein net balance and provided amino acids that were incorporated into myofibrillar protein during sleep. However, the ingestion of 30 g protein with or without additional free leucine did not increase overnight post-exercise muscle protein synthesis rates. These data may suggest that a relatively large amount of protein ( $\geq$ 40 g) is required to robustly stimulate muscle protein synthesis over a prolonged period such as overnight sleep.

The overall discussion and implications of the work described in this thesis are provided in **chapter 8**. We conclude that endurance-type athletes can benefit from the combined ingestion of fructose and glucose to optimize carbohydrate availability during prolonged exercise and post-exercise recovery. Athletes involved in resistance-type exercise should mainly focus on protein ingestion to augment muscle protein anabolism. While athletes habitually consume  $>1.2$  g protein $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ d $^{-1}$ , pre-sleep feeding may represent a practical and efficient strategy to maximize muscle protein synthesis following exercise and, therefore, improve exercise training efficiency.



# Samenvatting

Inname van de juiste voeding speelt een essentiële rol bij het optimaliseren van sportprestaties en het herstel na inspanning. Koolhydraten zijn de voornaamste brandstof tijdens langdurige inspanning van middelmatige tot hoge intensiteit. Het is alom bekend dat de inname van koolhydraten tijdens dit soort inspanning de prestatie ook daadwerkelijk kan verbeteren. Ook is de inname van koolhydraten vereist voor een zo spoedig mogelijk herstel van de voorraad glycogeen. Daarnaast is het belangrijk dat spierschade wordt hersteld en het spierweefsel zich aanpast aan de inspanning. Zelfs na een eenmalige inspanning of sportactiviteit wordt de aanmaak van spiereiwitten gestimuleerd. Echter zal de balans tussen spiereiwit opbouw en afbraak negatief blijven wanneer er geen voeding wordt genuttigd. De inname van eiwit stimuleert de aanmaak van spiereiwit en zorgt ervoor dat de spiereiwit balans positief kan worden. Dit effect wordt beïnvloed door verschillende factoren zoals de hoeveelheid eiwit, het type eiwit en de timing en verdeling van de eiwitinname. Echter, de optimale samenstelling en het beste moment van voedingsinname na inspanning zijn nog niet geheel duidelijk. Dit proefschrift beschrijft de rol van eiwit en koolhydraten in voedingsinterventies met als doel het herstel na een sportieve inspanning te bevorderen.

De inname van koolhydraten levert extra brandstof op die gebruikt kan worden tijdens intensieve duurinspanning. Echter, er lijkt een maximum te zitten aan de hoeveelheid ingenomen koolhydraten die daadwerkelijk gebruikt kunnen worden als brandstof tijdens inspanning. De opname van koolhydraten in het maag-darmstelsel lijkt hierbij de beperkende factor. De suikers glucose en fructose worden op verschillende manieren opgenomen door het maag-darmstelsel. De combinatie van beide suikers leidt daarom tot een hogere snelheid van koolhydraat opname in vergelijking tot de inname van enkel glucose of fructose. Sucrose (tafelsuiker) bestaat uit één deel glucose en één deel fructose. In **hoofdstuk 2** hebben we onderzocht of de toevoeging van fructose of sucrose aan een glucose sportdrink leidt tot een hogere verbrandingssnelheid van de ingenomen koolhydraten. Onze resultaten lieten zien dat de toevoeging van fructose inderdaad de verbrandingssnelheid van de ingenomen koolhydraten verhoogde. Echter was er geen verschil tussen de toevoeging van fructose als los ingrediënt of als onderdeel van sucrose. Deze resultaten suggereren dat simpel tafelsuiker een effectieve koolhydraatbron is om de verbranding van ingenomen koolhydraten te maximaliseren tijdens inspanning.

De hoeveelheid opgeslagen koolhydraten in het lichaam zou ruim voldoende moeten zijn om brandstof te leveren voor intensieve inspanning van ongeveer een uur. Echter zijn er toch onderzoeken die suggereren dat de inname van koolhydraten prestatie bevorderend kan werken tijdens dergelijke inspanning van relatief korte duur. Daarom wordt nu beweerd dat koolhydraten niet enkel dienen als brandstof, maar dat de waarneming van de aanwezigheid van koolhydraten in de mondholte ook al een prestatie bevorderend effect kan hebben. Dit komt voort uit onderzoek dat laat zien dat de mond spoelen met koolhydraten (en vervolgens uitspugen) de prestatie kan verbeteren. In **hoofdstuk 3** hebben we het effect van een sucrose mondspoeling bepaald tijdens duurinspanning van ongeveer een uur. Dit hebben we onderzocht in een gevaste toestand en na het nuttigen van een koolhydraatrijk ontbijt. In beide gevallen vonden we geen effect van de sucrose mondspoeling op de prestatie. Het blijft dus de vraag of de mond spoelen met een koolhydraatrijke drank daadwerkelijk de prestatie kan bevorderen, en zo ja, onder welke omstandigheden.

Zoals eerder besproken leidt de gecombineerde inname van glucose en fructose tot een verhoogde koolhydraatopname en dientengevolge tot een grotere beschikbaarheid van koolhydraten als brandstof tijdens inspanning. Dit concept zou mogelijk ook toegepast kunnen worden om het herstel van de voorraad glycogeen in de spier te versnellen na inspanning. In **hoofdstuk 4** hebben we onderzocht of de toevoeging van fructose aan glucose het herstel van spierglycogeen versnelt na inspanning. Echter vonden we geen meerwaarde van de toevoeging van fructose aan glucose op het herstel van de voorraad spierglycogeen. Wel zagen we dat deze combinatie resulteerde in minder maagdarm-klachten bij de sporters. Hierdoor lijkt de gecombineerde inname van glucose en fructose toch een meer praktische samenstelling om te voldoen aan de aanbevolen hoeveelheid koolhydraten na inspanning voor een optimaal herstel.

Terwijl koolhydraten met name brandstof leveren, dienen eiwitten vooral als bouwstof voor spieren. Daarom hebben we in **hoofdstuk 5** de dagelijkse eiwitinname van een grote groep goed getrainde Nederlandse atleten in kaart gebracht. We hebben hierbij gekeken naar zowel de totale hoeveelheid als de verdeling van de eiwitinname. We zagen dat de meeste sporters meer dan genoeg eiwit binnen kregen om aan de dagelijks aanbevolen hoeveelheid te voldoen. Echter was deze inname niet goed verdeeld over de dag. Er zit bijvoorbeeld een zeer lange periode zonder eiwitinname tussen het avondeten en het ontbijt de volgende dag. De inname van eiwitten voor het slapen gaan zou dus mogelijk een punt van verbetering kunnen zijn voor goedgetrainde sporters.

De inname van eiwitten levert bouwstenen voor het herstel en de groei van spieren. Krachttraining zorgt ervoor dat meer van deze bouwstenen in de spier terecht komen. In **hoofdstuk 6** hebben we gekeken of een dergelijk effect ook tijdens de slaap aanwezig is. Onze resultaten toonden aan dat de inname van eiwitten voor het slapen gaan inderdaad bouwstenen voor spierherstel levert tijdens de nacht. Zoals verwacht, werd dit proces versterkt door een sessie krachttraining eerder in de avond. Deze bevindingen ondersteunen het idee dat de combinatie van krachtinspanning en eiwitinname voor het slapen gaan ook 's nachts de aanmaak van spiereiwit kan bevorderen.

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de inname van 40 g eiwit voor het slapen gaan de aanmaak van spiereiwit tijdens de nacht kan stimuleren. In **hoofdstuk 7** hebben we onderzocht of de inname van een kleinere, meer praktische hoeveelheid van 30 g eiwit ook de aanmaak van spiereiwit tijdens de nacht kan vergroten. Hoewel de inname van 30 g eiwit voor het slapen gaan de totale aanmaak van eiwitten in het lichaam verbeterde, was dit effect niet voldoende zichtbaar in de spier. Dit suggereert dat de inname van een relatieve grote hoeveelheid eiwit (40 g of meer) nodig is om een duidelijk effect te zien op aanmaak van spiereiwit tijdens de nacht.

De algehele discussie en praktische toepassing van de resultaten uit de studies in dit proefschrift worden beschreven in **hoofdstuk 8**. We concluderen dat duuratleten voordeel kunnen halen uit een gecombineerde inname van glucose en fructose om de koolhydraatbeschikbaarheid te vergroten tijdens inspanning of tijdens het herstel na inspanning. Atleten die gefocust zijn op krachtsport moeten zich meer richten op de inname van eiwitten. Hoewel sporters in het algemeen meer dan 1,2 g eiwit per kg lichaamsgewicht per dag eten, blijkt de inname van extra eiwit voor het slapen gaan een goede mogelijkheid voor veel atleten om spierherstel en spieradaptatie verder te verbeteren.