

# VU Research Portal

## Tangentieel trappen op de racefiets: een goed idee?

Kistemaker, DA

### ***published in***

Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde  
2024

### ***document license***

Other

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### ***citation for published version (APA)***

Kistemaker, DA. (2024). Tangentieel trappen op de racefiets: een goed idee? *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*. Advance online 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 ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Tangentieel trappen op de racefiets: een goed idee?

In de wielersport telt elk detail als je de top wilt bereiken. Training en voeding worden steeds bijgeschaafd. Soms wordt er specifiek op een traptechniek getraind die tot efficiënter fietsen zou leiden. Zo bestaan er traptechnieken die wielrenners vertellen hoe ze precies de krachten van de voet op het pedaal zouden moeten 'richten'. Zou dit nou werkelijk helpen? Wij onderzochten het met een nieuw spierskeletmodel.



**Dinant Kistemaker** studeerde van 1999 tot 2003 bewegingswetenschappen aan de VU Amsterdam en promoveerde daar in 2007. Na een vijfjarig verblijf als postdoc in Londen, Canada, is hij nu opnieuw werkzaam bij bewegingswetenschappen en geeft hij leiding aan de sectie Biomechanica. Zijn onderzoek richt zich met name op de mechanica en energetica van het menselijk bewegen. [da.kistemaker@vu.nl](mailto:da.kistemaker@vu.nl)

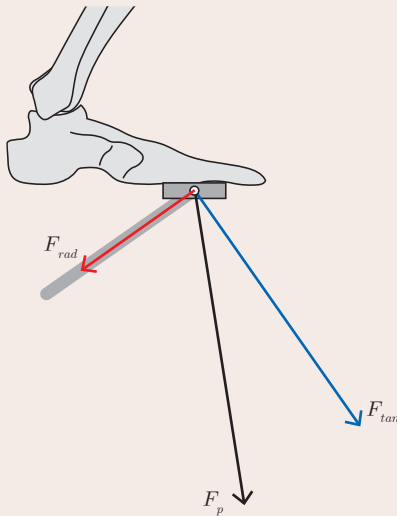
**O**m sneller te fietsen, ben je in mechanische zin afhankelijk van twee factoren: 1) het gemiddeld geleverd mechanische vermogen en 2) het vermogen dat verloren gaat aan de omgeving, in het vlakke terrein vooral door luchtweerstand. Dus hoe meer vermogen je levert, hoe harder je fietst en hoe meer luchtweerstand je ondervindt hoe langzamer je fietst. Het mechanische vermogen wordt geleverd door kracht uit te oefenen op de pedalen. De biomechanische eigenschappen van het been stellen de fietser in staat om in principe in elke positie van de trapper, in alle richtingen kracht te kunnen leveren op het pedaal. In de literatuur, maar ook in de praktijk, wordt nagedacht over welke traptechniek in het fietsen leidt tot de 'beste pedaalcrachten'. Een veelbesproken techniek bij fietsen is het 'tangentieel' trappen. Maar leidt dat wel tot betere prestaties?

## Wat is het idee achter tangentieel trappen?

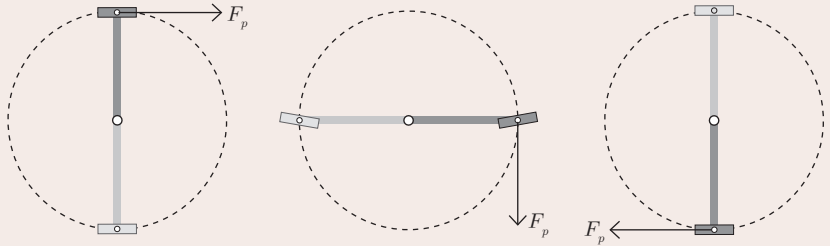
Hiervoor moeten we eerst begrijpen hoe de krachten op de pedalen bijdragen aan het leveren van mechanisch vermogen. De kracht op het pedaal ( $F_p$ ) kan worden opgesplitst in twee richtingen: één die loodrecht staat op de crank (dit is het verbindingsstuk tussen de trapper

en de trapas, en wordt ook wel kruk of pedaalarm genoemd), de 'tangentiële kracht' ( $F_{tan}$ ), en één die parallel loopt aan de crank, de 'radiale kracht' ( $F_{rad}$ ), zie figuur 1. De tangentiële kracht veroorzaakt een moment rond de trapas: dit is het product van de lengte van de crank en  $F_{tan}$ ; hiermee wordt het vermogen geleverd. De radiale kracht,  $F_{rad}$ , levert geen moment rond de trapas en draagt dus ook niet bij aan het vermogen; hij wordt daarom ook wel de 'ineffectieve kracht' genoemd.

Zowel  $F_{rad}$  als  $F_{tan}$  ontstaan door het aanspannen van spieren. Echter, zoals uitgelegd levert  $F_{rad}$  geen vermogen. Dus wanneer je deze kracht zou verminderen of zelfs vermijden, hoef je je spieren wellicht minder aan te spannen voor hetzelfde vermogen (waardoor je efficiënter bent) of kun je wellicht een groter maximaal vermogen leveren. Dit is de redenatie achter tangentieel trappen. Bij deze techniek probeer je de kracht die je op de pedalen uitoefent zoveel mogelijk tangentieel aan (=loodrecht op) de crank te richten. Soms wordt deze traptactiek in fasen of kwadranten verdeeld, en wordt uitgelegd in welke richting je in elke fase moet duwen. Op internet zijn er talloze websites en artikelen te vinden die beweren dat deze techniek je in staat stelt om harder en efficiënter te trappen.



Figuur 1. De pedaalcrank ( $F_p$ ) kan worden ontbonden in een tangentiële kracht ( $F_{tan}$ ) en een radiale kracht ( $F_{rad}$ ).  $F_{tan}$  staat loodrecht op de crank (dikke grijze lijn).



Figuur 2 Illustratie van tangentiële trappen. In elke positie wordt een pedaalcrank ( $F_p$ ) geleverd op het pedaal die loodrecht staat op de crank.

### Index of effectiveness

Om de mate waarin een fietser tangentiële trapt te kunnen kwantificeren, introduceerden Lafortune en Cavanagh in 1983 de *index of effectiveness* ( $IE$ ) [4]. Ze berekenen  $IE$  door de grootte van  $F_{tan}$  en de grootte van  $F_p$  gedurende een complete trapcyclus te integreren en vervolgens de verhouding van deze twee integralen te bepalen (dus een  $IE$  van 1 betekent dat de pedaalcrank precies loodrecht op de crank staat). Er bestaan vermogensmeters die de wielrenner informatie geven over de  $IE$  (ook wel aangeduid als *motive efficiency* of *pedalling effectiveness score*). Bij professionele wielrenners varieert  $IE$  tijdens een sprint doorgaans rond 0,8 bij lage trapfrequenties en daalt hij tot onder 0,3 bij hoge trapfrequenties [2]. Blijkbaar trappen zelfs topwielrenners met aanzienlijke ‘ineffectieve’ radiale pedaalcrachten.

### Bijproduct?

Dé vraag is nu: is de traptetechniek van (top)wielrenners suboptimaal, of zijn deze radiale krachten een onvermijdelijk bijproduct bij het optimaal fietsen? In het eerste geval zou je door gericht trainen op het vermijden van  $F_{rad}$  meer vermogen

kunnen leveren of efficiënter kunnen fietsen. In het tweede geval zou je door het vermijden van  $F_{rad}$  juist minder vermogen kunnen leveren of minder efficiënt gaan fietsen. De wetenschappelijke literatuur is hier niet eenduidig over. Wielrenners blijken niet goed in staat te zijn om (zuiver) tangentiële te trappen en mede daardoor zijn resultaten van experimentele studies niet eensluidend. De Nederlandse biomechanicus Gerrit Jan van Ingen Schenau (de uitvinder van de klapschaats) had lang geleden al theoretische bezwaren tegen het idee dat het vermijden van radiale krachten voordeel oplevert (zie bijvoorbeeld [1]).

### Spierskeletmodel

In onze eigen studie [3] maakten we gebruik van een geavanceerd dynamisch model van het menselijke spierskeletstelsel. Met nieuwe numerieke optimalisatietechnieken berekenden we hoeveel vermogen er maximaal geleverd kan worden. Het gebruikte spierskeletmodel (zie figuur 3) bestaat uit vijf rigide segmenten die via wrijvingsloze scharniergewrichten met elkaar verbonden zijn. Deze segmenten vertegenwoordigen de crank (0,17 m), de voet (van enkel

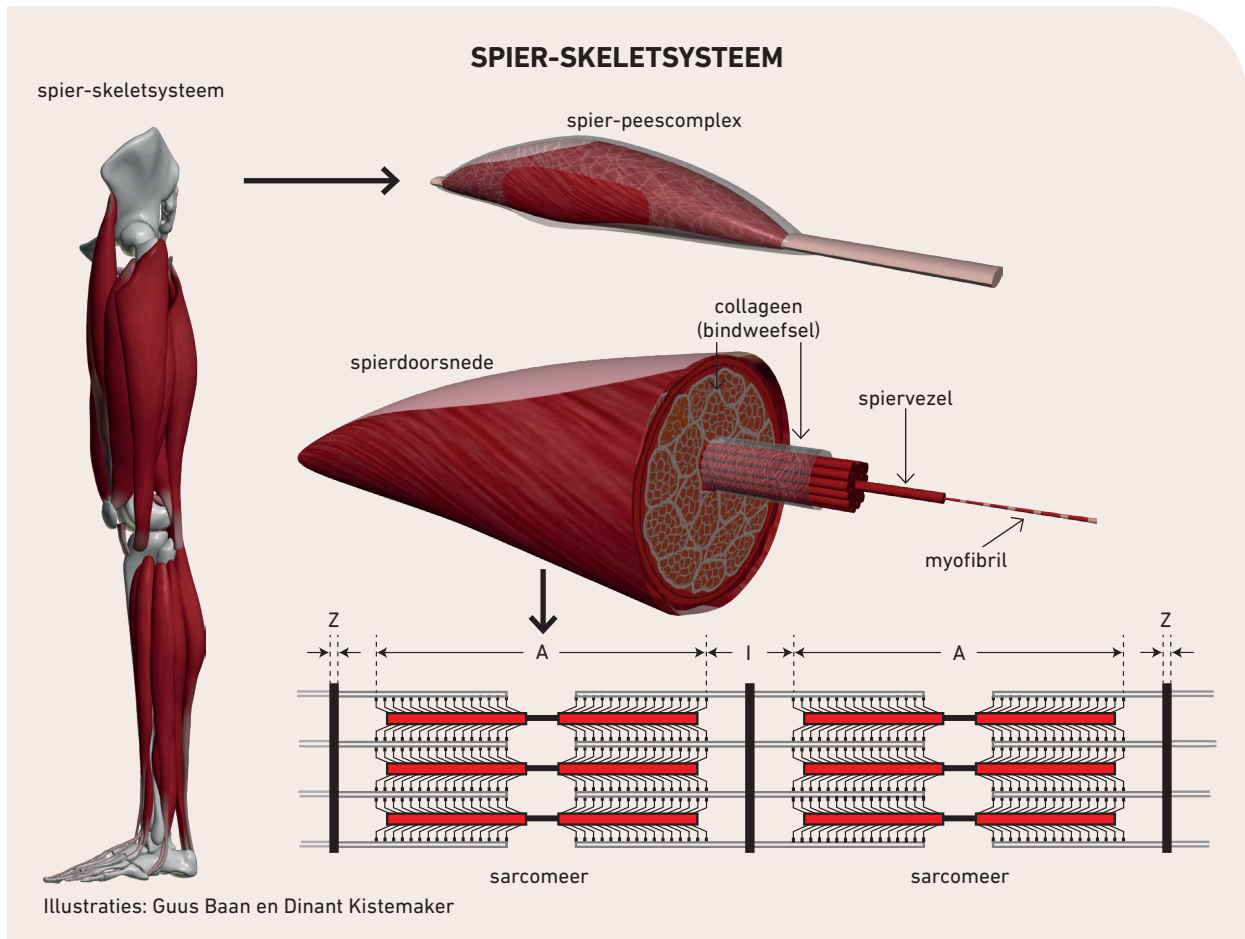
tot crank: 0,165 m), het onderbeen (0,458 m), het bovenbeen (0,485 m) en het segment ‘hoofd-armenromp’ (0,82 m; niet afgebeeld). Dit skeletmodel wordt aangedreven door modellen van de belangrijkste spieren in het been. Elk spiermodel beschrijft de belangrijkste mechanische eigenschappen van de echte spier (zie kader *Model van het spierpeescomplex (SPC)*) op de juiste manier. De enige onafhankelijke input van het spierskeletmodel is de stimulatie van de gemodelleerde spieren als functie van de tijd.

### Maximaal vermogen

De spierstimulaties als functie van tijd worden geoptimaliseerd om het geleverde gemiddeld mechanisch vermogen rond de trapas in één volledige omwenteling te maximaliseren:

$$P_{gem} = \int_0^{\frac{1}{tf}} F_{tan} \cdot l_{cr} \cdot \dot{\varphi}_{cr} dt$$

met  $tf$  de trapfrequentie,  $l_{cr}$  de cranklengte en  $\dot{\varphi}_{cr}$  de hoeksnelheid van de crank. Deze optimalisatie werd uitgevoerd voor zeven verschillende niveaus van maximaal toegestane radiale krachten:  $F_{rad,max} = [0, 100, 200, 300, 400, 500, \infty]$  N.



**Model versus de mens**

Het maximale vermogen van het model is ongeveer 1115 W, wat goed overeenkomt met waarden gerapporteerd in de literatuur over sprintfietsen. Ook kwam de optimale trapfrequentie zeer goed overeen met experimenteel gevonden waarden (~110 rpm). Tot slot waren ook de voorspelde pedaalkrachten als functie van tijd in overeenstemming met de literatuur. Dit betekent dat het model in staat is om de belangrijke aspecten van echt fietsen goed te beschrijven.

**Invloed 'ineffectieve' radiale krachten**

In figuur 4 is het maximale gemiddeld vermogen ( $P_{gem}$ ) weergegeven als functie van de maximaal toegestane radiale pedaalkracht. De hoogste waarde van  $P_{gem}$  werd gevonden wanneer de radiale kracht onbeperkt was (dus  $F_{rad,max} = \infty$ ): 1115 W. Uit de

resultaten wordt snel duidelijk dat het beperken van de 'ineffectieve' radiale kracht een slecht idee is voor het maximaal vermogen: dat neemt af met maar liefst 53% wanneer er geen radiale pedaalkrachten waren toegestaan. In figuur 4 wordt ook de  $IE$  weergegeven. Duidelijk is te zien dat de hoogste  $IE$  niet samenvalt met het hoogst haalbare  $P_{gem}$ . Dit geeft aan dat de radiale pedaalkrachten onvermijdelijke 'bijproducten' zijn bij het maximaliseren van  $P_{gem}$ .

**Minder positief vermogen**

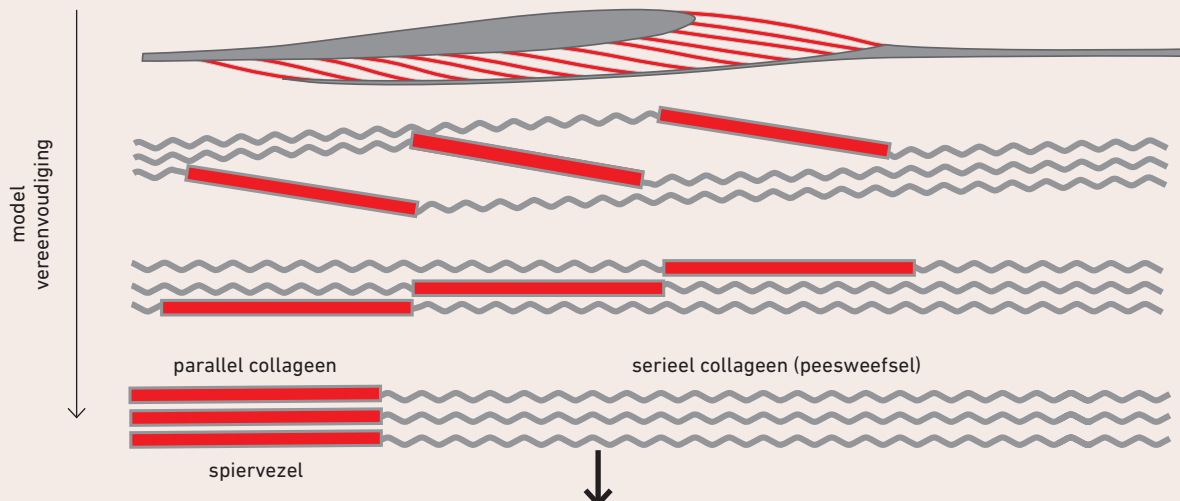
Figuur 5 toont de arbeid geleverd door elke gemodelleerde spier (samengevoegd voor beide benen) gedurende één volledige trapcyclus, en het instantane vermogen van elke spier als functie van de crankhoek. Het is duidelijk dat wanneer het model geen radiale krachten mag uitoefenen, de spieren aanzienlijk

minder positief vermogen kunnen leveren.

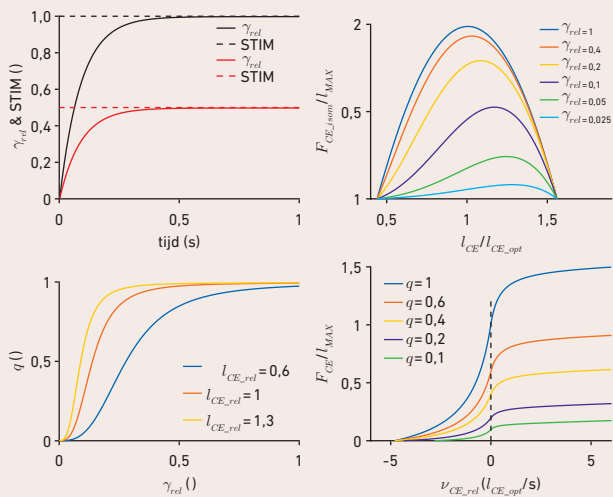
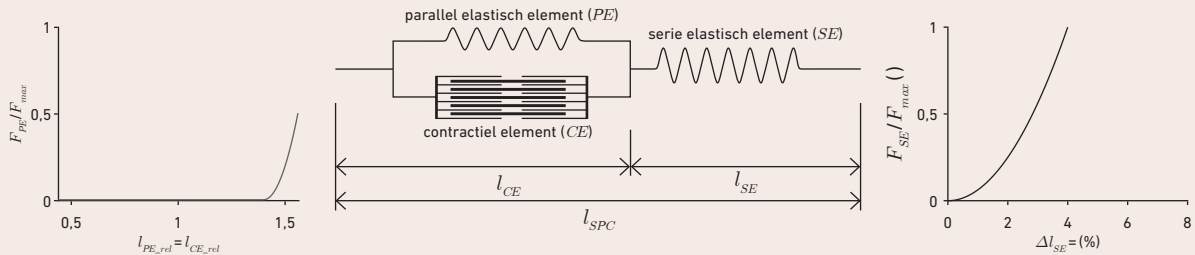
**Meer negatief vermogen**

Doordat spieren alleen kunnen trekken en niet duwen, moeten spieren verkorten om positief vermogen te leveren. Idealiter zouden spieren dus actief moeten zijn tijdens verkorting en inactief tijdens verlenging. Echter, spieren vertonen complex dynamisch gedrag, wat ertoe leidt dat het op- en afbouwen van kracht tijd vergt. Het gevolg daarvan is dat wanneer spieren een hoog gemiddeld vermogen moeten leveren, zij ook onvermijdelijk vermogen dissiperen. In gevallen waarin de krachten tangentiël moeten zijn, blijkt dat het negatieve vermogen van spieren groot is: voor elke watt aan positief vermogen leveren spieren 0,45 W aan negatief vermogen. In gevallen waarin radiale krachten wel toegestaan zijn, is dit aanzienlijk minder, namelijk 0,2 W.

### MODEL VAN HET SPIER-PEESCOMPLEX (SPC)



### Hill-model van spier-peescomplex

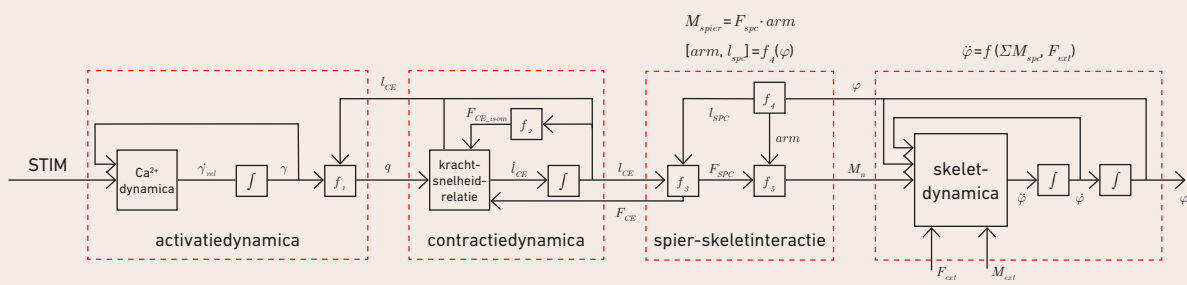


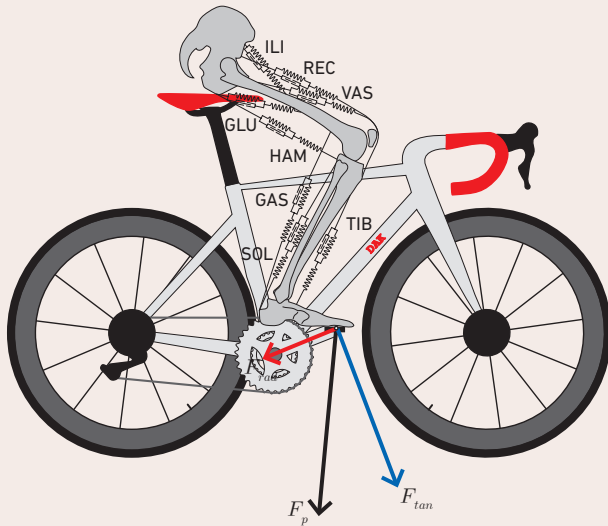
Een spier-skeletmodel bestaat uit modellen van spier-peescomplexen en van het skelet. Het Hill-type *SPC*-model bestaat uit een *PE*, *SE* en *CE*. *PE* en *SE* worden gemodelleerd als niet-lineaire veren. Het *CE*-gedrag is complexer:

**Activatiedynamica.** Twee stappen:  
 1. dynamica tussen spierstimulatie (STIM) en  $[Ca^{2+}]$  in de spier ( $\gamma_{rel}$ )  
 2. relatie tussen  $\gamma_{rel}$  en spieractivatie ( $q$ ).  
**Contractiedynamica.** Dynamica die ontstaat door interactie van de kracht-lengterelatie ( $F_{CE} - l_{CE}$ ), de kracht-snelheidsrelatie ( $F_{CE} - v_{CE}$ ) en *SE*.

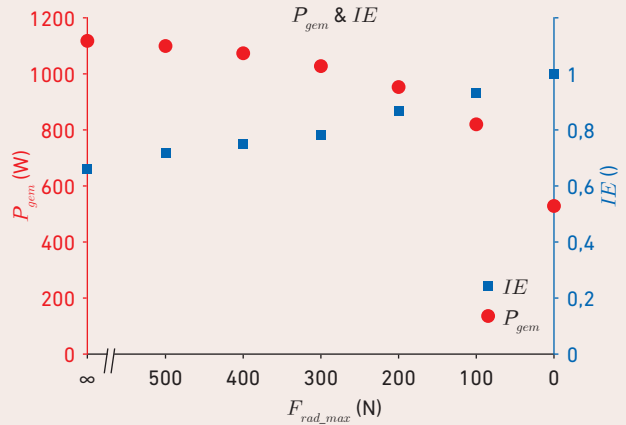
De interactie tussen *SPC* en skelet:  
 1.  $F_{SPC}$  leveren momenten rond de gewrichten.  
 2. *SPC*-lengte en de momentsarm (*arm*) worden gedicteerd door de gewrichtshoeken.

Skeletdynamica volgt uit de hoofdwetten van Newton. Parameters van het spier-skeletmodel worden geschat op basis van experimenten aan dieren, mensen en lichamen van overleden mensen.

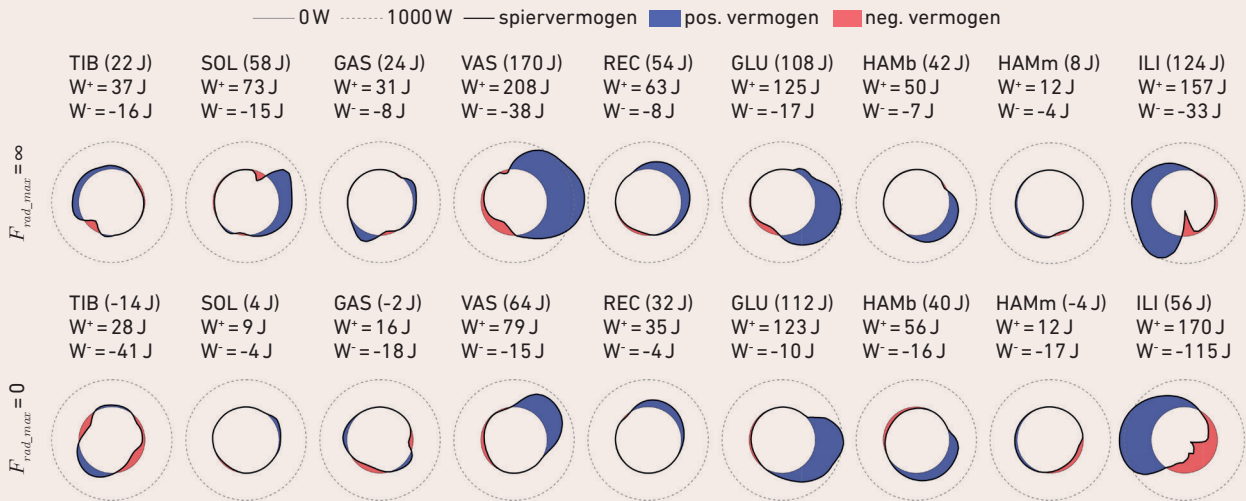




Figuur 3. Schematische weergave van het spierskeletmodel van een wielrenner. De volgende belangrijke beenspieren zijn in het model meegenomen: *m. iliopsoas* (ILI), *m. gluteus maximus* (GLU), *mm. vastii* (VAS), *m. rectus femoris* (REC), de hamstring (HAM), *m. gastrocnemius* (GAS), *m. soleus* (SOL) en *m. tibialis anterior* (TIB). Illustratie: Dinant Kistemaker.



Figuur 4. Het maximaal gemiddeld vermogen ( $P_{gem}$ ) en de *index of effectiveness* ( $IE$ ) als functie van de maximaal toegestane radiale kracht ( $F_{rad,max}$ ). Uit [3].



Figuur 5. Netto mechanische arbeid per spier, de positieve arbeid ( $W^+$ ) en negatieve arbeid ( $W^-$ ) over één volledige omwenteling. Daarnaast wordt ook het instantane vermogen als functie van de crankpositie weergegeven.  $P_{gem}$  is gelijk aan de netto arbeid geleverd tijdens één crankomwenteling vermenigvuldigd met de trapfrequentie. Uit [3].

### Compenseren in plaats van vermijden

Om zoveel mogelijk vermogen te leveren, is het simpelweg zaak om de tangentiële kracht zo groot mogelijk te maken. De radiale krachten die daarbij ontstaan, zijn onvermijdelijk, omdat krachten van spieren nu eenmaal tot zowel een tangentiële als een radiale krachtscomponent

leiden. Hierdoor kun je als fietser de radiale pedaalkracht niet ‘zomaar’ vermijden. Je hersenen moeten je spierstimulaties zo coördineren dat alle spierkrachten gezamenlijk tot een pedaalkracht leidt die loodrecht op de crank staat. Echter, dit kost je dus onvermijdelijk vermogen en leidt tot een lagere efficiëntie.

### REFERENTIES

- 1 C.A.M. Doorenbosch et al., On the effectiveness of force application in guided leg movements, *Journal of Motor Behavior* **29**, 27-34 (1997).
- 2 S. Dorel et al., Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise, *Medicine & Science in Sports & Exercise* **41-7**, 1277-1286 (2009).
- 3 D.A. Kistemaker et al., Limiting radial pedal forces greatly reduces maximal power output and efficiency in sprint cycling: An optimal control study, *Journal of Applied Physiology* **134-4**, 980-991 (2023).
- 4 M.A. LaFortune en P.R. Cavanagh, Effectiveness and efficiency during bicycle riding (1983).