



Delft University of Technology

Hoe het hele lichaam bijdraagt aan de 'ideale' tennisslag

Wat het oog niet ziet: de kinematische keten

van Trigt, B.; Hoozemans, Marco; van der Boon, Natasja

Publication date
2025

Published in
Sportgericht

Citation (APA)

van Trigt, B., Hoozemans, M., & van der Boon, N. (2025). Hoe het hele lichaam bijdraagt aan de 'ideale' tennisslag: Wat het oog niet ziet: de kinematische keten. *Sportgericht*, 3(79), 6-12.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Wie Diede de Groot of Tallon Griekspoor een forehand ziet slaan, zal observeren dat ze dit niet alleen met hun arm doen, maar gebruik maken van het gehele lichaam en - indien van toepassing - ook de rolstoel. Wat is hierbij de optimale beweging van lichaam en rolstoel? Ons onderzoek poogde deze vraag te beantwoorden.

Hoe het hele lichaam bijdraagt aan de 'ideale' tennisslag

Wat het oog niet ziet: de kinematische keten

Bart van Trigt, Marco Hoozemans & Natasja van der Boon

Het slaan van een tennisbal met een racket is een complexe beweging, waarbij de speler zijn lichaamssegmenten gecoördineerd moet laten samenwerken. Deze samenwerking wordt ook wel de kinetische of kinematische keten (*kinetic / kinematic chain*) genoemd (zie figuur 1A).^{1,2} In een eerder artikel in *Sportgericht* is deze keten beschreven voor de honkbalpitch.³

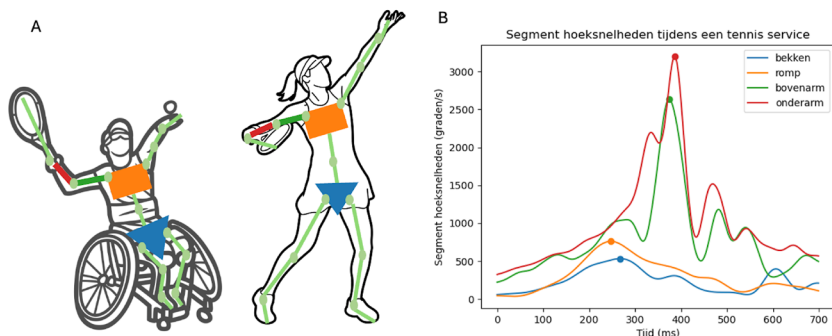
Opeenvolgende rotaties

De veronderstelling is dat bij de uitvoering van een tennisslag opeenvolgende rotaties van de gelinkte lichaamssegmenten plaatsvinden in een volgorde van proximaal naar distaal.⁴ Hierbij genereert elk lichaamssegment energie en draagt deze over aan het volgende segment.⁵ Zo wordt bij de tennisslag energie van de benen via het bekken en de romp overgedragen naar de arm, de hand en uiteindelijk het racket. Op die manier kan een zo hoog mogelijke snelheid van het laatste segment, het racket en daarmee ook de bal, worden gegenereerd. Voor de beste prestatie moet de coördinatie van deze serie van opeenvolgende rotaties van lichaamssegmenten optimaal zijn. Bij zulke complexe en snelle sportbewegingen is echter met het blote

oog vaak niet te zien waar het verschil zit tussen een goede, een zeer goede en een perfecte uitvoering.

IMU metingen

Dankzij technologische ontwikkelingen, zoals het beschikbaar komen van kleine en lichte bewegings-sensoren (*inertial measurement units*, IMU's), kunnen we tegenwoordig in het veld - en dus op de tennisbaan - heel precies meten hoe een beweging wordt uitgevoerd. Door deze IMU-sensoren te bevestigen op de belangrijkste lichaamssegmenten kunnen we de kinematische keten in kaart brengen. Hierbij levert de ingebouwde gyroscoop relevante data wat betreffende de piekhoeksnelheden van de betrokken segmenten en de tijd hiertussen (*intersegmentale timing*, zie figuur 1B). Door deze data vervolgens te relateren aan prestatie-indicatoren, zoals balsnelheid, krijgen we inzicht in de effectiviteit waarmee de energie door de lichaamssegmenten wordt gegenereerd en overgedragen. Dit biedt niet alleen waardevolle informatie voor onderzoekers, maar ook voor trainer/coaches en voor spelers die hun techniek willen verfijnen, optimaal willen presteren en de kans op blessures willen minimaliseren.



Figuur 1 | Om de kinematische keten in kaart te brengen, beschouwen we het lichaam als een lijnfiguur, waarbij we ieder lichaamssegment apart willen meten. A) Lijnfiguur van een rolstoelspeler en een valide speler. B) Hoeksnelheden van de verschillende segmenten tijdens de tennisservice van een valide speelster. De puntjes op de toppen zijn de piekhoeksnelheden. De tijd die verloopt tussen deze puntjes representeert de intersegmentale timing.

De tennisservice: testprotocol

De service is één van de meest cruciale en complexe slagen in het tennis. Het is niet alleen de start van elk punt, maar biedt spelers ook de mogelijkheid om direct de controle over de rally te nemen, of zelfs een direct punt te scoren met een ace. Een effectieve service combineert balsnelheid, balspin en precisie van balplaatsing, waarbij op professioneel niveau vaak balsnelheden van meer dan 200 km/u worden bereikt. Ook is de service één van de meest voorkomende slagen.⁶

Voor de service is het bereiken van hoge balsnelheden dus van belang, maar hoe doen tennissers dit en hoe kunnen ze dit optimaliseren? Om op deze vragen antwoord te krijgen hebben we acht Nederlandse valide professionele spelers (zes mannen en twee vrouwen) gemeten.⁷ We stelden ons hierbij twee vragen:

- 1) Zien we verschillen in de kinematische keten tussen de eerste en de tweede service?
- 2) Welke parameters van de kinematische keten zijn gerelateerd aan de serviceprestatie?

We voerden de metingen uit op het Nationaal TrainingsCentrum (NTC) in Amstelveen met behulp van de Serve Tennis Test (STT).⁸ De STT is ontwikkeld om de kwaliteit van

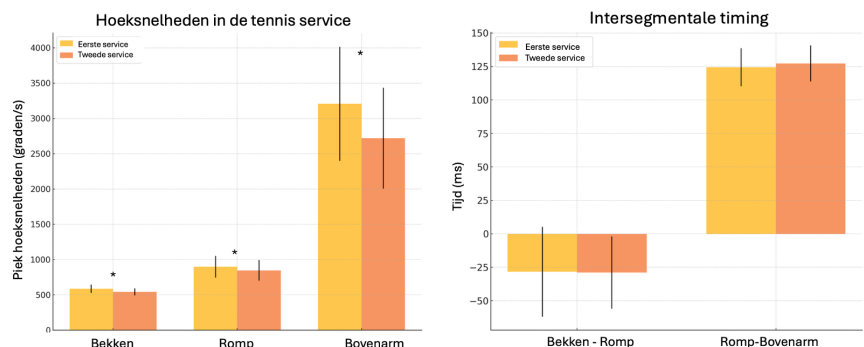
een service te kwantificeren. Daarbij wordt de wedstrijdssituatie zoveel mogelijk nagebootst. Elke speler sloeg in het onderzoek in totaal 48 services, verdeeld over twee blokken van 24, met een pauze van 90 seconden tussen de twee blokken. Wanneer een netservice werd geslagen, werd er opnieuw geserveerd. De opslagen werden steeds per paar uitgevoerd: een eerste service gevolgd door een tweede. De spelers wisselden af tussen de *deuce* (40 gelijk) en de *advantage* (voordeel/nadeel) kant en kregen vooraf instructies om de bal naar specifieke zones binnen het servicevak te slaan. Deze

zones waren: de 'T' (midden van het tennisveld), het lichaam (centraal in het servicevak) en de buitenkant (dichtbij de zijlijn). De volgorde van deze zones was voor alle spelers gelijk en werd vooraf willekeurig bepaald. De snelheid en plaatsing van de bal werden gemeten met het PlaySight systeem.⁹

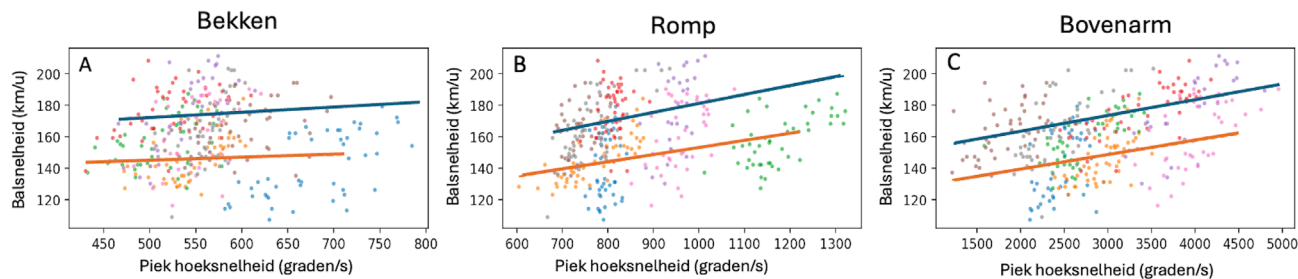
De tennisservice: resultaten

Logischerwijs waren de balsnelheden van de eerste service hoger dan die van de tweede service. Dit verschil zagen we terug in de piekhoeksnelheden van het bekken, de romp en de bovenarm: die waren hoger tijdens de eerste vergeleken met de tweede service (zie figuur 2). De intersegmentale timing was echter niet verschillend tussen beide services.

Vanwege 43 niet door het PlaySight-systeem geregistreerde services werden in totaal 347 services meegenomen in de analyses. We zagen een opbouw in de grootte van de piekhoeksnelheden van het bekken naar de romp en vervolgens naar de bovenarm (zie figuur 2). Een hogere piekhoeksnelheid van de romp en de bovenarm, maar niet van het bekken, resulteerde in een hogere balsnelheid bij zowel de eerste als de tweede service, zoals te zien is aan de positieve relaties



Figuur 2 | Links: piekhoeksnelheden van de eerste en tweede service voor elk segment. Rechts: intersegmentale timing. * = significant verschillend ($p < 0.05$). De foutbalken zijn gelijk aan één standaarddeviatie.



Figuur 3 | Relaties tussen hoek- en balsnelheden voor respectievelijk het bekken (A), de romp (B) en de bovenarm (C). De blauwe lijnen zijn de relaties voor de eerste service en de oranje lijn de relaties voor de tweede service. Elke punt in de grafiek is één service. De kleur van ieder punt behoort tot een individuele tennisspeler. Let op: de waarden van de x-as zijn verschillend tussen de drie grafieken.

tussen beide variabelen die zijn afgebeeld in de figuren 3B (romp) en 3C (bovenarm). Praktisch betekent dit het volgende: om de bal met een 1 km/u hogere snelheid in het servicevak te laten landen, moet - gemiddeld genomen - de romp met 18 graden/s en de bovenarm met 100 graden/s sneller draaien. De intersegmentale timing bleek géén doorslaggevende factor te zijn voor balsnelheid. Dit was verrassend, omdat we dit bij de bovenhandse worp van professionele honkbalspelers juist wel zien.¹⁰ Het verschil zit mogelijk in het feit dat honkballers zelf kunnen bepalen wanneer ze de bal loslaten. Tennissers daarentegen moeten de bal opgooien en deze op het juiste moment slaan terwijl die weer aan het vallen is. Hierdoor ligt bij de tennisservice de timing min of meer vast en kan deze maar beperkt worden aangepast om een hogere balsnelheid te bereiken. Het onderzoek laat dus zien dat met betrekking tot de kinematische keten bij het uitvoeren van de

tennisservice vooral de grootte van de hoeksnelheden van de romp en bovenarm van belang zijn voor de balsnelheid. IMU's leveren op deze manier nuttige informatie voor spelers en trainers; door in een training de bereikte hoeksnelheden op een directe manier aan hen terug te koppelen, kan objectief en gericht worden gewerkt aan verbetering van de service.

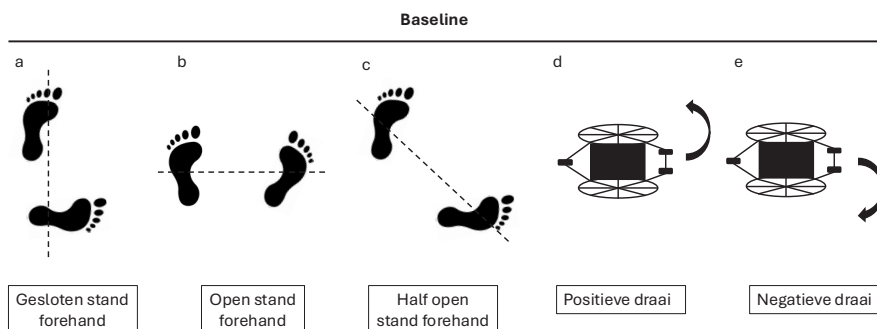
De forehand

Ons onderzoek bevestigt hiermee dat de basis van de kinematische keten - bestaande uit de onderste extremiteiten, het bekken en de (zwarte) romp - een belangrijke rol speelt bij het genereren en doorgeven van energie bij (bovenhandse) bewegingen. Dit resulteert in een hoge balsnelheid bij de honkbal-pitch en de tennisservice.^{7,11} Deze

factoren zijn ook belangrijk bij het uitvoeren van de tennisforehand.^{12,13} Maar terwijl de speler bij de service de stand van zijn voeten of de rolstoel zelf kan bepalen, kan deze bij de forehand sterk variëren door het verloop van de rally's, met variaties in snelheid en rotatie van de aankomende bal en de positie van de speler in het veld. Dit maakt het voor een speler dus lastiger om tijdens de forehand de basis van de kinematische keten - de onderbenen of rolstoel - solide neer te zetten. Bij de forehand van valide spelers worden hierbij de volgende drie voetposities onderscheiden (zie figuur 4):

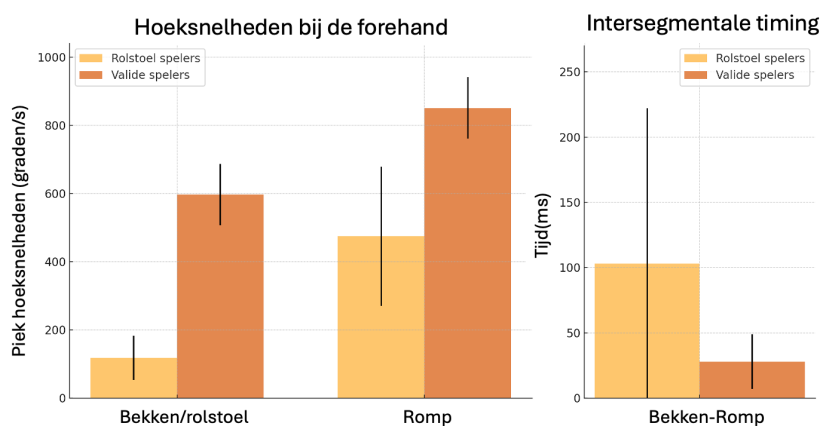
- gesloten stand;
- open stand;
- halfopen stand.

In het rolstoeltennis worden de forehands over het algemeen



Figuur 4 | De verschillende voet- en rolstoelposities bij het slaan van een forehand door een rechtshandige tennissers.

De intersegmentale timing bij het slaan van de service bleek géén doorslaggevende factor te zijn voor de balsnelheid. Dit was verrassend, omdat we dit bij de bovenhandse worp van professionele honkbalspelers juist wel zien.¹⁰



Figuur 5 | Links: piekhoeksnelheden van het bekken/rolstoel en de romp tijdens het slaan van een forehand. Rechts: de intersegmentale timing. De foutbalken zijn gelijk aan één standaarddeviatie.

geslagen tijdens het maken van dan wel een positieve, dan wel een negatieve draai of bocht. Hierbij wordt voor een rechtshandige speler een draai tegen de klok in gezien als een positieve bocht en een draai met de klok mee als een negatieve bocht (zie figuur 4). Verwacht wordt dat de positieve bocht een positieve bijdrage levert aan de balsnelheid, terwijl een negatieve bocht juist remmend werkt.

Testprotocol

Ook dit effect van de verschillende voet- en rolstoelposities bij het slaan van de forehand op de kinematische keten en de balsnelheid hebben we op het NTC in Amstelveen onderzocht.¹⁴ Vijftien valide tennisers en 15 rolstoeltennisers namen deel aan de studie. Op het tennisveld werden ballen aangegeven door een ballenmachine. Iedere speler werd geïnstrueerd om met een forehand een 'winner' te slaan op een pilon die in de buurt van de baseline aan de overzijde van het net was geplaatst.

Voor elke verschillende basis van de kinematische keten moesten de spelers 30 succesvolle forehands slaan. Voor de valide spelers waren dit de gesloten, open en halfopen

stand, zoals weergegeven in figuur 4 weergegeven. De rolstoelers werd gevraagd om op de forehand op vier verschillende manieren te slaan:

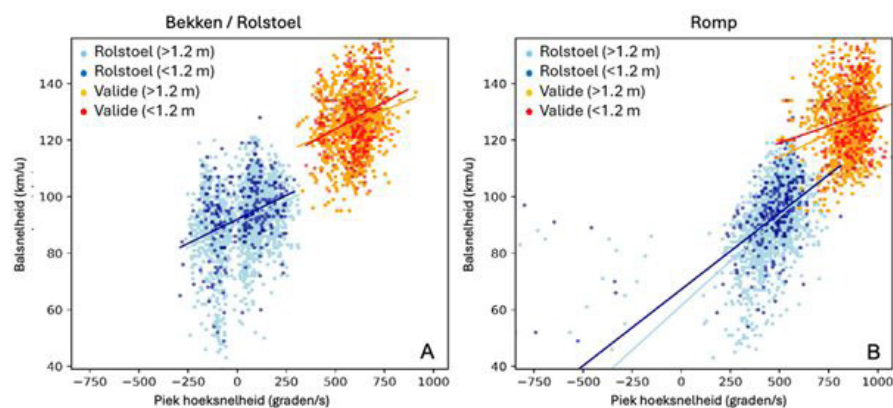
- 1) in een stilstaande positie zonder de rolstoel te roteren;
- 2) tijdens het maken van een positieve bocht (zie figuur 4);

- 3) tijdens het maken van een negatieve bocht (zie figuur 4);
- 4) rechtuit naar het net toe rijdend. Opnieuw werden IMU's op de relevante lichaamssegmenten en de rolstoel gebruikt om de piekhoeksnelheden en de intersegmentale timing in relatie tot de balprestatie te bepalen.

Resultaten

In totaal zijn in dit onderzoek 1884 forehands van rolstoeltennisers en 1348 forehands van valide tennisers geanalyseerd. Daarbij stuitte de bal bij de rolstoelers in 18% van de gevallen binnen 1,2 meter van de pilon en bij de valide spelers in 29% van de gevallen.

Net zoals we eerder zagen bij de service is in figuur 5 voor de forehand te zien dat de grootte van de piekhoeksnelheid van het bekken/ de rolstoel naar de romp bij beide groepen spelers toeneemt. Deze hoeksnelheden zijn bij rolstoelers wel lager dan bij valide tennisers. In beide groepen werd een significante en positieve associatie

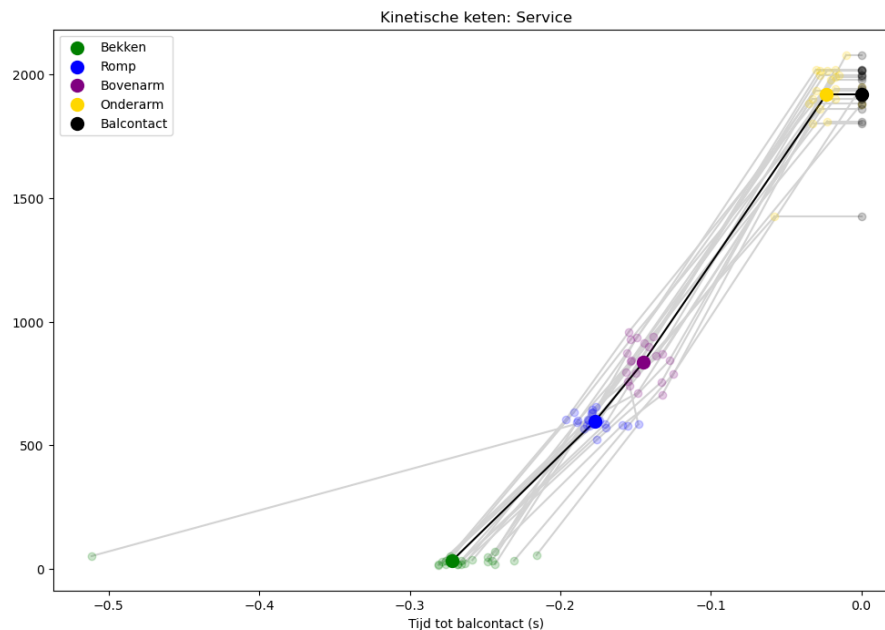


Figuur 6 | Relaties tussen de balsnelheid en de piekhoeksnelheid van het bekken / de rolstoel (A) en de romp (B). De blauwe lijnen zijn de relaties voor de rolstoeltennisers (lichtblauw: binnen 1,2 meter van de pilon, met regressiecoëfficiënten 0,034 (A) en 0,054 (B); donkerblauw: buiten 1,2 meter van de pilon, met regressiecoëfficiënten 0,033 (A) en 0,063 (B)). De oranje lijnen zijn de relaties voor de valide tennisers (lichtoranje: binnen 1,2 meter van de pilon, met regressiecoëfficiënten 0,038 (A) en 0,024 (B); donkeroranje: buiten 1,2 meter van de pilon, met regressiecoëfficiënten 0,029 (A) en 0,033 (B)). Elk punt in de grafiek staat voor één forehand.

gevonden tussen de grootte van de piekhoeksnelheid van het bekken / de rolstoel en de balsnelheid (zie figuur 6). Sneller (in- of positief) draaien van het bekken of de rolstoel gaat dus gepaard met hogere balsnelheden. Ook werd in beide groepen een positieve associatie gevonden tussen de balsnelheid en de piekhoeksnelheid van de romp. Deze resultaten gelden zowel voor de nauwkeurig (balstuit < 1,2 meter van de pilon) als de minder nauwkeurig (balstuit > 1,2 meter van de pilon) geslagen forehands. Praktisch betekent dit het volgende: om de bal met een 1 km/u hogere snelheid te laten landen, moet - gemiddeld genomen - bij rolstoelspelers de rolstoel met 29 graden/s en de romp met 18 graden/s sneller draaien. Voor de valide tennisers geldt dat - gemiddeld genomen - het bekken met 30 graden/s en de romp met 35 graden/s sneller moeten draaien. Wat betreft de intersegmentale timing tussen bekken/rolstoel en romp blijkt er alleen bij de rolstoeltennisers een positieve en significante associatie met de balsnelheid te zijn.

Van onderzoek naar praktijk: Stroke Booster

De resultaten hierboven laten zien dat de informatie die verkregen wordt uit de IMU-bewegingssensoren op bekken/rolstoel en romp in de praktijk van dienst kan zijn bij de begeleiding van een brede groep tennisers. Op het NTC van de KNLTB is zodoende de *Stroke Booster* ontwikkeld. Hiermee wordt het verloop van de kinematische keten voor de verschillende tennisslagen van iedere individuele speler in kaart gebracht. Allereerst worden baselinemetingen uitgevoerd, bestaande uit het slaan van 10 forehands, 10 backhands, 10 services vanaf de deuce kant en 10 services vanaf de advantage kant. Deze meting neemt ongeveer 15 minuten in beslag. Op basis van deze meting



Figuur 7 | Een voorbeeld van een grafiek uit het Stroke Booster rapport. Afgebeeld is de kinematische keten van 10 services geslagen vanaf de deuce kant. De zwarte lijn is het gemiddelde. Rechts van balcontact (het gele bolletje) is de servicesnelheid vermeld en of deze in het servicevak (groen) of uit is geslagen (rood). Het is duidelijk te zien dat ieder lichaamssegment (bekken, romp, bovenarm en onderarm) snelheid toevoegt aan de keten. De timing is echter niet helemaal optimaal. De piekhoeksnelheid van de bovenarm wordt bij een aantal services eerder bereikt dan die van de romp. Bevindingen als deze worden meegenomen in het overleg met de coach, waarbij deze grafieken naast het videomateriaal worden gelegd.

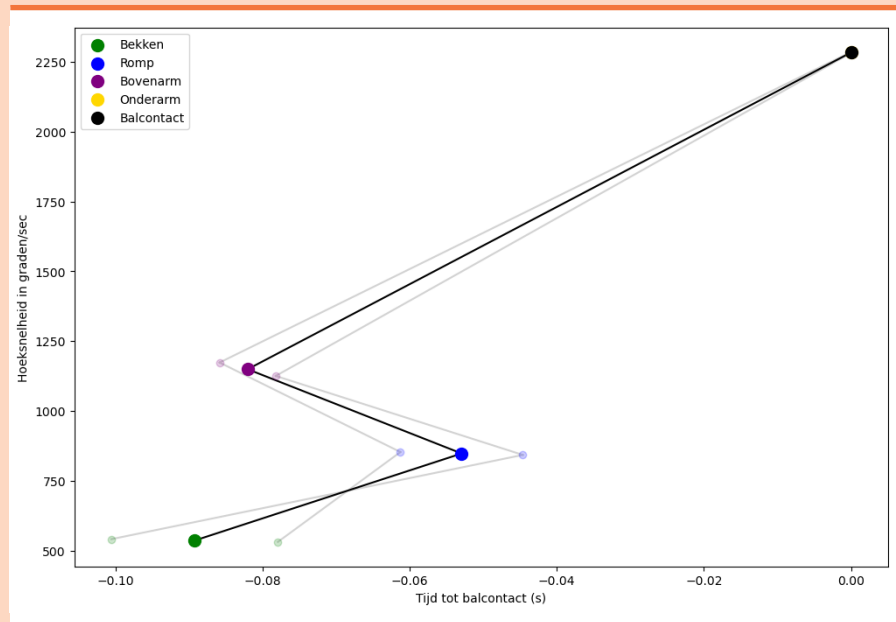
kunnen we vervolgens een profiel schetsen van de kinematische keten van alle (basis)slagen binnen het tennis van de betreffende speler. De data worden door de sportwetenschapper verwerkt in een rapport dat nog diezelfde week wordt besproken tijdens het multidisciplinair overleg tussen tenniscoaches, fysieke trainers, fysiotherapeuten, de bondsarts en de sportwetenschapper. Gezamenlijk analyseren zij hierbij het spelersprofiel. Figuur 7 laat een voorbeeld zien van een grafiek in zo'n rapport. De besproken punten worden vastgelegd in het dossier en later door de tenniscoach en de sportwetenschapper met de speler besproken en geïntegreerd in de training.

Toekomst

Door het gebruik van IMU's zijn we steeds beter in staat om de kinematische keten van verschillende tennisslagen van een individuele tennisser in kaart te brengen. Inmiddels is het ons ook gelukt om deze meettechniek te implementeren in de praktijk. Dit biedt mogelijkheden om spelers in de toekomst over een langere periode te monitoren. Op deze manier kan bijvoorbeeld de ontwikkeling van jeugdspelers gevolgd worden. Ook kan een coach die door een bepaalde trainingsvorm aanpassingen wil maken in de technische uitvoering van een slag van zijn speler, dit nu objectief evalueren. Doelstellingen zijn prestatieverbetering en het verminderen van overbelastingsblessures.

Casus van een Nederlandse topspeler

Een coach op het NTC vroeg de sportwetenschapper om te kijken naar verschillende typen services van zijn speler, die in de periode ervoor veel gewerkt had aan zijn service en benieuwd was waar nog meer winst te behalen viel. Dit hebben we door middel van een meting met de IMU's in kaart gebracht. In zijn kinematische keten (zie figuur 8) viel op dat zijn bovenarm als eerst de piekhoeksnelheid bereikt en pas daarna het bekken, de romp en de onderarm. Met deze informatie hebben we naar het beeldmateriaal gekeken en dit vergeleken met beelden van elite tennisers. Vergeleken met Jannik Sinner (nummer 1 van de wereld bij de mannen) en Ben Shelton (staat bekend om zijn hoge servicesnelheid) bleek dat de hoek die deze topspelers met hun heup maken veel kleiner was dan bij de Nederlandse speler (zie figuur 9). In het overleg met het team kwam naar voren dat hij vanuit deze positie niet optimaal vanuit zijn benen kan versnellen en dus minder energie kan doorgeven naar de romp en de rest van zijn keten. Daarnaast komt er, vanuit medisch perspectief, tijdens het versnellen vanuit deze positie veel druk te staan op zijn knieën, wat met het oog op blessures niet ideaal is. Kortom, op zowel prestatieverbeterend als blessurepreventief vlak is de keuze gemaakt om de heuphoek kleiner te maken. Hier zijn de coach en speler vervolgens mee aan de slag gegaan.



Figuur 8 | Een voorbeeld van de kinematische keten van drie slice services geslagen vanaf de deuce kant. De zwarte lijn geeft het gemiddelde van de drie services weer.



Figuur 9 | Drie verschillende tennisers in dezelfde fase van de servicebeweging: links Jannik Sinner, in het midden Ben Shelton en rechts de Nederlandse speler die in dit kader beschreven wordt.

Over de auteurs

Dr. **Bart van Trigt** is bewegingswetenschapper en promoveerde als biomechanical engineer aan de TU Delft. Als practicum verbindt hij de praktijk en wetenschap in het sportengineering- en beweegdomein. Vanuit zijn eigen bedrijf Ridgeline Movement houdt hij zich bezig met verschillende sportprojecten. Website: www.bartvantrigt.nl, e-mail: info@bartvantrigt.nl.

Dr. **Marco Hoozemans** is bewegingswetenschapper en universitair hoofddocent aan de Faculteit der Gedrags- en Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam. In het onderzoek is hij onder andere geïnteresseerd in (bovenhandse) sportbewegingen, waarbij de kinematische keten en de belasting van de bovenste extremiteiten een rol spelen. E-mail: m.j.m.hoozemans@vu.nl.

Natasja van der Boon MSc is bewegingswetenschapper en als sport scientist werkzaam bij de KNLTB. Hier houdt zij zich bezig met onder andere de biomechanische analyses van de tennisslagen voor zowel de valide als de rolstoeltenissers. Daarnaast is zij tennisleraar: dit helpt haar om de wetenschap te vertalen naar de praktijk en toepasbaar te maken voor de tenniscoaches en andere stafleden van de KNLTB. E-mail: n.vanderboon@knltb.nl.

1. Chu SK et al. (2016). The kinetic chain revisited: new concepts on throwing mechanics and injury. *PM&R Advanced Sports Medicine Concepts and Controversies*, 8, S69-S77.
2. Ellenbecker TS & Aoki R (2020). Step by step guide to understanding the kinetic chain concept in the overhead athlete. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13, 155-163.
3. Trigt B van (2024). Blessurepreventie bij bovenhandse sporten. Kunnen sensoren hierbij helpen? *Sportgericht*, 78, 32-37.
4. Seroyer ST et al. (2010). The kinetic chain in overhead pitching: Its potential role for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health*, 2, 135-146.
5. Howenstein J, Kipp K & Sabick M (2019). Energy flow analysis to investigate youth pitching velocity and efficiency. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51 (3), 523-531.
6. Johnson CD & McHugh MP (2006). Performance demands of professional male tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 696-699.
7. Trigt B van et al. (2025). Uncovering the hidden mechanics of upper body rotations in tennis serves using wearable sensors on Dutch professional players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1463299.

8. Dijk T van et al. (2025). Development, construct validity and test-retest reliability of a Serve Tennis Test (STT) in elite tennis. *Journal of Sports Science*, submitted.
9. Playsight. <https://playsight.com/our-sports/tennis/>.
10. Graaff E van der et al. (2018). Timing of peak pelvis and thorax rotation velocity in baseball pitching. *Journal of Physical Fitness & Sports Medicine*, 7, 269-277.
11. Swart AFMJ de et al. (2022). Energy flow through the lower extremities in high school baseball pitching. *Sports Biomechanics*, Oct 13, 1-15.
12. Reid M, Elliott B & Crespo M (2013). Mechanics and learning practices associated with the tennis forehand: a review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12 (2), 225-231.
13. Seeley MK et al. (2011). Tennis forehand kinematics change as post-impact ball speed is altered. *Sports Biomechanics*, 10 (4), 415-426.
14. Boon N van der et al. (2025). The importance of the kinetic chain's base in the forehand of (sub)elite wheelchair and able-bodied tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, submitted.

(advertentie)



BLACKROLL® Do it your health

Recover like a Pro.

BLACKROLL

 Kennis overzicht



Voor een sneller herstel.

Na een dag intensief trainen of werken, verdienen je benen wel wat rust. De COMPRESSION BOOTS helpen pijn te verlichten, spieren te ontspannen, vochtophoping te verminderen en geven verlichting bij zware benen door de bloedsomloop te stimuleren.

 3 Massagemodi

 5 Druk niveaus

 Compact Design