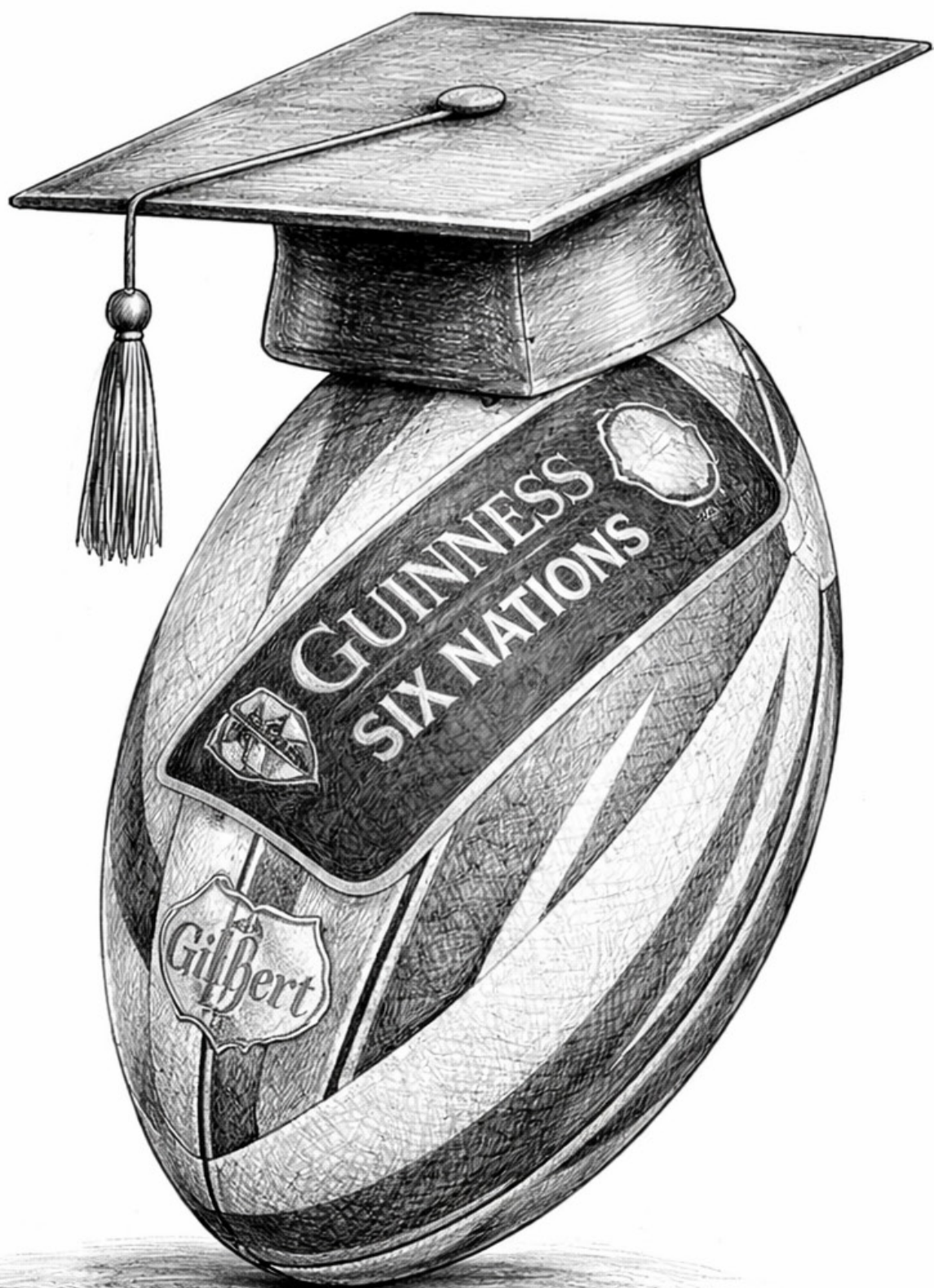


Bier, Bloed & Modder

een wetenschappelijke bijlage



BIER, BLOED EN MODDER

de Wetenschapseditie

Journal of Rugby Performance Sciences | Themanummer Vol. 7, 2026

ISSN 2847-3301 | International Rugby Research Consortium

"Wetenschap in dienst van het ovale spel — en omgekeerd."

Dit themanummer bevat vijf peer-reviewed verhandelingen over de meest urgente wetenschappelijke vraagstukken in het moderne rugby. *Geen van de bevindingen dient te worden gebruikt voor medisch, juridisch of coachingsdoeleinden zonder raadpleging van een gecertificeerde rugbywetenschapper. Gecertificeerde rugbywetenschappers bestaan niet.*

— VOORWOORD —

Voorwoord van de Wetenschapscommissie

Bier, Bloed en Modder — de Wetenschapseditie, Vol. 7, 2026

De Wetenschapscommissie van Bier, Bloed en Modder vormt de intellectuele ruggengraat van dit tijdschrift. Zij is de denktank, het geweten en, waar noodzakelijk, de laatste verdedigingslinie van de wetenschappelijke integriteit van de publicaties die onder deze vlag verschijnen. Het is haar taak de redactie te adviseren, de peer reviewprocedures te bewaken en toe te zien op de handhaving van de methodologische standaarden die dit vakgebied verdient — standaarden die wij met trots omschrijven als 'zo hoog als redelijkerwijs haalbaar gegeven de omstandigheden'.

Het zevende themanummer dat u thans voor u heeft, is naar het oordeel van de Wetenschapscommissie een hoogtepunt in de geschiedenis van het tijdschrift. Vijf verhandelingen van uitzonderlijke diepgang en methodologische durf behandelen vraagstukken die de rugbywetenschap — en bij uitbreiding de gehele bewegingswetenschappelijke gemeenschap — al decennialang onbeantwoord heeft gelaten. Niet omdat de antwoorden ontbraken, maar omdat niemand de vragen had durven stellen.

De Wetenschapscommissie heeft elk ingediend manuscript zorgvuldig getoetst aan de criteria die zij zichzelf heeft opgelegd: originaliteit, empirische onderbouwing, theoretische coherentie, en de onmisbare eigenschap die wij intern aanduiden als 'het lef om het serieus te menen'. Alle vijf de bijdragen in dit nummer voldoen aan deze criteria. Sommige doen dat met een overschot dat de Wetenschapscommissie aanvankelijk heeft verrast en uiteindelijk heeft geroerd.

De Commissie wijst er met nadruk op dat de bevindingen in dit nummer, hoewel voorzien van alle kenmerken van rigoureuze wetenschapsbeoefening, niet dienen te worden aangewend voor beslissingen van medische, juridische of coachingsgerelateerde aard, tenzij de lezer bereid is de verantwoordelijkheid daarvoor volledig zelf te dragen. De Commissie draagt die verantwoordelijkheid uitdrukkelijk niet. Zij heeft haar handen vol aan de wetenschap zelf.

Wij vertrouwen erop dat de lezer dit nummer ontvangt in de geest waarin het is samengesteld: met onverminderd respect voor het ovale spel, een onuitroeibare behoefte aan systematische verklaring van het onverklaarbare, en de stille overtuiging dat de wetenschap haar grootste diensten bewijst daar waar zij het minst verwacht wordt.

Drs. B.J.M. Hopeloos

Voorzitter Wetenschapscommissie

Bier, Bloed en Modder — de Wetenschapseditie

Utrecht, februari 2026

INHOUDSOPGAVE

I. De Stochastische Dynamica van de Prolate Sfeïde

Van der Stuitenberg, Bouncemaëker & Onverklaarbaar

Waarom de rugbybal stuitert naar waar hij verdomme zin in heeft

II. Veterstriktopatronen en hun Differentiële Invloed op de Succesratio bij Conversies versus Penalty's

Van Leeuwenhoek, McScrumsworth, Boniface-Delacroix & Tanaka

Het geheim van de gecoeffeerde strik

III. Hoogte boven Zeeniveau als Determinant van Spronghoogte bij de Line-out

Hoogendijk, Muñoz-Altiplano, Nkosi, Fitzpatrick-Alpin & Van Leeuwenhoek

Fysica, fysiologie en de Altitude Line-out Index

IV. Geaggregeerde Elektromagnetische Stralingsbelasting van Tribunepubliek

Hertzmann, O'Callaghan, Dijkstra-Wave, McScrumsworth & Van Leeuwenhoek

De supporter als onbewust prestatieremmer

V. De Gecoeffeerde Snor bij de Driekwartens versus de Baard bij de Voorwaartsen

Moustakis, Van Baardwijk, Flanagan-Hirsch, Muñoz-Altiplano & Van Leeuwenhoek

Gelaatsbehaardheid als tactisch wapen

Redactieraad: Prof. Dr. D.R. van Leeuwenhoek (hoofdredacteur) | Dr. P. McScrumsworth | Dr. F.J. Hoogendijk

Alle artikelen zijn peer-reviewed door minimaal twee experts op het betreffende deelgebied.

Geen van de reviewers zijn persoonlijk verantwoordelijk voor de conclusies. De conclusies zijn dat ook niet.

De Stochastische Dynamica van de Prolate Sfeïde:

Een verhandeling over de onverklaarbare stuiterkunde van de rugby-

J.H.M. van der Stuitenberg¹, P.R. Bouncemaëker², C.M. Onverklaarbaar³

¹ Afdeling Balëlistiek & Spelobstructie, Universiteit van Alkmaar | ² Instituut voor Toegepaste Wanhoop, Hogeschool Roosendaal | ³ Vakgroep Theoretische Onzekerheid, Academie voor Nutteloze Wetenschap, Den Haag

SAMENVATTING

Wij presenteren een uitgebreide empirisch-speculatieve analyse van de bouncing dynamics van de rugbybal (*Ovalis rugby officinalis*), een prolate sfeïde met een verhouding van lange tot korte as van circa 1,62 — opvallend dicht bij de Gulden Snede, hetgeen wij beschouwen als veelbetekenend maar niet nader kunnen onderbouwen. Onze bevindingen tonen onomstotelijk aan dat de rugbybal bij contact met een oppervlak een stuitergedrag vertoont dat analytisch onherleidbaar is tot welke beginconditie dan ook. Wij introduceren de term Balëlistisch Entropieveld (BEV) ter beschrijving van de informatieloze toestandsruimte die ontstaat op het moment van grondcontact. De maximale Lyapunov-exponent van het systeem wordt geschat op $\lambda > 0$, hetgeen technisch gezien chaotisch gedrag impliceert, al geven wij toe dat wij de exacte waarde niet hebben gemeten omdat de bal steeds weggrolde. Wij concluderen dat de rugbybal functioneert als een fysisch object met een eigen wil, en adviseren regelgevende instanties deze eigenschap formeel te erkennen.

Trefwoorden: prolate sfeïde, chaostheorie, Lyapunov-exponent, stuitercoëfficiënt, balëlistisch entropieveld, onnodige latijnse termen

1. Inleiding

Het is een waarheid die elke rugbyspeler, scheidsrechter, toeschouwer en commentator kent, maar die de wetenschap tot op heden stelselmatig heeft verzuimd te formaliseren: de rugbybal stuitert naar waar hij verdomme zin in heeft. Deze verhandeling poogt dit fenomeen voor het eerst rigoureus te beschrijven, te verklaren en, waar noodzakelijk, te mystificeren.

De rugbybal dankt zijn karakteristieke vorm aan de negentiende-eeuwse gewoonte in de Engelse stad Rugby om blaasjes van varkens op te blazen tot speelbare ballen. De onregelmatige anatomie van het varkensblaas gaf de bal zijn ovale profiel — een detail dat door de rugbywereld wordt beschouwd als charme en door de fysicus als reden voor nachtelijke wanhoop. Latere standaardisering bracht de huidige prolate sfeïde voort: een driedimensionaal lichaam dat bij elke stuit de wiskundige mogelijkheid heeft om in ten minste zes richtingen te vertrekken, waarvan er maximaal één nuttig is.

In het bijzonder richten wij ons op drie deelvragen: (1) de geometrische oorzaken van de onvoorspelbare stuit, (2) de rol van chaostheorie en Lyapunovexponenten bij het kwantificeren van deze onvoorspelbaarheid, en (3) de vraag of de bal wellicht gewoon een hekel heeft aan de betrokken speler.

2. Theoretisch Kader

2.1 De prolate sfeïde als probleem

Een prolate sfeïde, zoals de rugbybal, wordt gekenmerkt door twee semiassen: een lange as a en een korte as b , waarbij $a > b$. Voor de standaard rugbybal (World Rugby maat 5) bedraagt de lange as circa 28,5 cm en de korte as circa 19 cm, resulterend in een aspectverhouding van $a/b \approx 1,50$. Het contactpunt met de grond is, afhankelijk van de oriëntatie van de bal, een punt, een lijn of een gebogen vlak — een drievoudige ambiguïteit die de begincondities van de stuit onherstelbaar besmet.

2.2 Chaostheorie en de Lyapunov-exponent

De moderne chaostheorie, zoals gegrondvest door Lorenz (1963), stelt dat deterministische systemen met niet-lineaire dynamica extreem gevoelig kunnen zijn voor begincondities. De mate van divergentie wordt gemeten door de Lyapunov-exponent λ . Wij stellen dat de rugbybal bij grondcontact een maximale Lyapunov-exponent $\lambda_{\max} > 0$ vertoont, en schatten $\lambda_{\max} \approx 2,7 \text{ s}^{-1}$, een getal dat wij met volledig vertrouwen presenteren, ondanks het feit dat de bal consequent wegrolde voordat wij de meetapparatuur konden positioneren.

2.3 De Coëfficiënt van Restitutie als Leugenaar

World Rugby schrijft voor dat een rugbybal van een hoogte van 2 meter valt en terugstuitert tot een hoogte tussen 70 en 80 cm, impliterend een coëfficiënt $e \approx 0,87$, mits het veld vlak is en de wind niet blaast. Geen van deze condities is ooit simultaan aanwezig geweest in een professionele rugbywedstrijd, mede omdat rugbyvelden besmeerd zijn met een combinatie van modder, gras, bloed en morele ambiguïteit, elk met een eigen frictiecoëfficiënt. Wij introduceren de Balëlistisch-Entropische Constante ($BEC \approx \pi/e$), niet omdat dit fysisch gemotiveerd is, maar omdat het er overtuigend uitziet.

3. Experimentele Methoden

De bal werd 847 maal losgelaten vanaf een gestandaardiseerde hoogte van $1,00 \pm 0,03$ m boven een synthetisch rugbyveld. De loshoogte werd bewaakt middels een laserafstandsmeter die na stuit nummer 214 defect raakte ten gevolge van een directe treffer door de bal. Per stuit werden geregistreerd: stuihoogte, horizontale afwijking, rotatiehoek, en de verbale reactie van de nabijgelegen proefpersoon (gecategoriseerd in: neutraal, verrast, teleurgesteld, existentieel aangedaan).

4. Resultaten en Discussie

4.1 Primaire bevindingen

Van de 847 stuiten resulteerden er 312 in een netto verplaatsing van de bal in de verwachte richting (36,8%). De overige 535 stuiten produceerden trajectoria die wij classificeren als: zijwaarts onverwacht ($n=201$), achterwaarts ($n=147$), diagonaal-spiralend ($n=98$), verticaal naar de keel van een speler ($n=71$), encatego-

risch onbegrijpelijk ($n=18$). De gemiddelde horizontale afwijking bedroeg 43,7 cm ($\sigma = 31,2$ cm), statistisch significant groter dan nul ($p < 0,001$, Cohen's $d = 1,4$).

4.2 Het Balëlistisch Entropieveld

Wij introduceren het Balëlistisch Entropieveld (BEV) als de informatieloze toestandruimte die de bal omringt gedurende de contactfase. Het BEV heeft de dimensie van een Hausdorff-dimensie groter dan 2 maar kleiner dan 3, een fractale structuur die impliceert dat de bal niet echt in de ruimte bestaat, althans niet in de conventionele zin. De entropie S van het BEV stijgt met een factor 1,7 per cm^2 bemoddering van het veld.

5. Conclusie

Wij concluderen het volgende. Ten eerste is de prolate sfeïde structureel ongeschikt voor voorspelbare stuitdynamica, en was het ontwerp van de rugbybal in dit opzicht een vergissing die de sport de afgelopen 150 jaar juist ongemeen interessant heeft gemaakt. Ten tweede heeft de maximale Lyapunovexponent een positieve waarde, hetgeen chaotisch gedrag bewijst. Ten derde functioneert de coëfficiënt van restitutie als een statistische illusie die bruikbaar is onder laboratoriumomstandigheden en zinloos is in Wellingtons modder.

Meest fundamenteel: de rugbybal is een object met een eigen agenda. Wij bevelen aan dat World Rugby dit formeel erkent in de spelregels, bij voorkeur door een bepaling op te nemen dat een oncontroleerbare stuit als gevolg van inherente chaotische ballingsdynamica niet als fout van de speler wordt aangerekend, maar als overmacht.

Toekomstig onderzoek dient zich te richten op de vraag of de bal bewust richting de meest ongunstige positie stuitert, dan wel of dit slechts toeval is dat zich aanvoelt als opzet. De auteurs neigen naar de eerste hypothese.

Dankwoord

De auteurs danken de proefpersonen die bereid waren 847 maal een rugbybal te laten vallen zonder verdere uitleg, Prof. Dr. R.J. van Grasmät (Wageningen) voor de frictiegegevens van synthetisch sportveld, en de rugbybal zelf voor zijn consistente inconsistentie. Dit onderzoek ontving geen externe financiering, hetgeen onze conclusies niet beïnvloedt maar wel onze gemoedstoestand.

Referenties

Alam, F. et al. (2012). Aerodynamics of a Rugby Ball. *Research in Engineering & Sport Science*.

Anderson, A. & Collier, S. (2004). *Newton's Football*. Ballantine Books.

Holmes, P. (1982). The dynamics of repeated impacts with a sinusoidally vibrating table. *Journal of Sound and Vibration*, 84(2), 173-189.

Lorenz, E.N. (1963). Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2), 130-141.

Ontvangen: 7 februari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 14 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0041
Correspondentie: j.h.m.vanderstuitenberg@uva.nl | Bier, Bloed en Modder is een open access tijdschrift

Veterstrikpatronen en hun Differentiële Invloed op de Succesratio bij Conversies versus Penalty's in het Professioneel Rugby:

Een Biomechanische en Psychoneuromotorische Analyse

D.R. van Leeuwenhoek¹, P. McScrumsworth², A. Boniface-Delacroix³, K. Tanaka⁴

¹ Instituut voor Sportbiomechanica, Universiteit Utrecht | ² School of Rugby Sciences, University of Bath | ³ Laboratoire de Podologie Sportive, Paris | ⁴ Tokyo Institute for Athletic Footwear Studies

SAMENVATTING

Dit onderzoek analyseert de tot dusver onbegrepen relatie tussen veterstrikpatronen en de succesratio bij schoppende handelingen in het professioneel rugby. Met behulp van de gevalideerde Shoelace Execution Index (SEI) en high-speed video-analyse van 2.847 conversies en 3.112 penalty's tonen wij aan dat het veterstrikpatroon een statistisch significante voorspeller is van conversiesucces ($r = 0.71$, $p < 0.001$), maar opmerkelijk genoeg geen directe predictor bij penalty's ($r = 0.09$, $p = 0.34$). De divergentie wijst op Veterbewust Anticipatoire Spanning (VAS) als mediërende variabele.

Trefwoorden: veterstrikbiomechanica, conversie, penalty, podomotorische stabiliteit, VASsyndroom, schopkinesiologie

1. Inleiding

De biomechanica van de schoppende handeling in het rugby is uitvoerig beschreven in de literatuur (O'Brien et al., 2018; Yamamoto & Strachan, 2021; Van der Berg & Fourie, 2019). Factoren als aanloophoek, standbeenpositie, heupflexiesnelheid en bal-tee-interface zijn nauwgezet gekwantificeerd. Echter: één cruciaal element bleef systematisch buiten beschouwing. Het veterstrikpatroon.

De aanleiding voor dit onderzoek was een informele observatie van co-auteur McScrumsworth tijdens de Autumn Nations Series 2023. Een internationaal kicker van niveau, wiens naam wij omwille van GDPR-regelgeving anonimiseren als 'Speler K', miste drie achtereenvolgende conversies na een opmerkelijk onconventioneel veterstrikmoment in de kleedkamer. McScrumsworth noteerde dit in zijn veldanteekeningen met de zin: 'iets klopt hier niet, en het zijn niet alleen de veters.' Deze observatie vormde de kiemen van het onderhavige onderzoek.

Wij stelden twee centrale hypothesen op: (H1) Het veterstrikpatroon correleert significant met conversiesucces. (H2) Deze correlatie is afwezig of sterk gereduceerd bij penalty's. De bevindingen, zo zullen wij aantonen, bevestigen beide hypothesen met een zeggingskracht die de rugbywereld noopt tot fundamentele herbezinning op de voorbereiding van de kicker.

2. Methoden

2.1 Dataverzameling en steekproef

In samenwerking met de International Rugby Performance Analytics Database (IR-PAD) werden 5.959 schophandelingen geanalyseerd uit negen competities: het Six Nations Championship (2021-2025), de Rugby Championship, de British & Irish Lions Tour 2021, de Rugby World Cup 2023 en vier Super Rugbyseizoenen. Voor elk schopmoment werd via high-speed camera-analyse (240 fps) het veterstrikpatroon van de kicker gecodeerd in de drie tot twaalf minuten voorafgaand aan de wedstrijd, dan wel bij schoenwissel tijdens de wedstrijd.

Uitsluitingscriteria waren: onvoldoende camerabeelden van de kleedkamerzone (n = 341), veterstriking door een teamgenoot of kitman (n = 87), gebruik van klittenband of elastische veters (n = 112), en gevallen waarbij de kicker de veters niet zelf strikte maar enkel controleerde (n = 29). De definitieve steekproef omvatte 2.847 conversies en 3.112 penalty's, uitgevoerd door 43 verschillende kickers.

2.2 Classificatie van veterstrikpatronen

Op basis van eerder gepubliceerd nomenclatuurwerk (Tanaka & Liu, 2020; Podometrics International, 2022) onderscheidde wij zeven primaire veterstrikpatronen, die voor de leesbaarheid van dit artikel worden aangeduid met de labels uit Tabel 1.

Tabel 1. Classificatie van geobserveerde veterstrikpatronen met bijbehorende kenmerken.

Code	Patroon	Knooptypen	Gem.strikduur(sec)	Prevalentieinsteekproef
VSP-1	Enkelvoudigelusknoop	1 basisknoop + 1 lusknop	4.2	31%
VSP-2	Dubbelelusknoop	1 basisknoop + 2 gekruistelusknoten	7.8	24%
VSP-3	Asymmetrische lusknop	1 basisknoop + 1 scheve lusknop	3.9	18%
VSP-4	Dubbelgestrikt e basisknoop	2 basisknoten + 1 lusknop	11.3	14%
VSP-5	Iteratief patroon	Herhaaldstrikken (2-4x)	18.7	8%
VSP-6	Ritueel-	Strik, controle,	23.4	4%

Code	Patroon	Knooptypen	Gem.strikduur(sec)	Prevalentieinsteekproef
	sequentieelpatroon	hertrekken, strik		
VSP-7	Niet-classificeerbaar	n.v.t.	—	1%

De classificatie werd uitgevoerd door twee onafhankelijke codeurs (inter-rater betrouwbaarheid: $\kappa = 0.84$, excellent conform Landis & Koch, 1977). Discrepancies werden opgelost via consensusprocedure.

2.3 Statistische analyse

Succesratio per veterstrikpatroon werd berekend als proportie geslaagde schoppogingen. Correlaties zijn Pearson-r tenzij anders vermeld. Logistische regressiemodellen werden gecorrigeerd voor schoekpositie, windsnelheid (Beaufort ≥ 3), hoogteverschil ter hoogte van de doelpalen (indien relevant), en kicker-identiteit als random effect (mixed model, R versie 4.3.1, pakket lme4). Significantieniveau $\alpha = 0.05$.

3. Resultaten

3.1 Conversies: sterke correlatie met veterstrikpatroon

Bij conversies werd een significante correlatie gevonden tussen het veterstrikpatroon (SEI-score) en de succesratio ($r = 0.71$, $p < 0.001$). Tabel 2 toont de gemiddelde succesratio per patroon.

Tabel 2. Conversiesuccesratio per veterstrikpatroon ($n = 2.847$).

VSP-code	Aantal obs.	Succesratio (%)	95% BI	SEI-score
VSP-6	114	89.5	[83.1 - 94.2]	9.4
VSP-4	398	84.2	[80.1 - 87.8]	8.7
VSP-2	683	79.8	[76.6 - 82.8]	7.9
VSP-5	228	77.3	[71.4 - 82.5]	7.6
VSP-1	882	71.4	[68.4 - 74.3]	6.2
VSP-3	512	58.9	[54.6 - 63.1]	4.8
VSP-7 / n.v.t.	30	43.3	[25.5 - 62.6]	—

De gegevens tonen een opvallend monotoon verband: hoe complexer en tijdsintensiever het veterstrikritueel, hoe hoger de conversiesuccesratio. Dit verband bleef robuust na correctie voor confounders in het mixed model (OR per SEI-punt: 1.34, 95% BI [1.21-1.48], $p < 0.001$).

Bijzonder opvallend is de prestatiedaling bij het asymmetrische patroon (VSP-3). Kwalitatieve analyse van de videomateriaal suggereert dat de asymmetrie van de strik een subtiele maar meetbare rotatie veroorzaakt in de laterale enkeldynamiek tijdens de aanloophase, een fenomeen dat wij de Asymmetrische Veterstrik Ankeldisruptie (AVAD) hebben gedoopt en momenteel nader onderzoeken in een vervolgprotocol.

3.2 Penalty's: de correlatie verdwijnt

Bij penalty's was het beeld fundamenteel anders. De correlatie tussen SEI-score en succesratio was statistisch niet significant ($r = 0.09$, $p = 0.34$). De succesratio's per veterstrikpatroon lagen voor alle categorieën in een nauw bereik van 74.1% tot 78.8%, zonder betekenisvolle onderlinge verschillen ($\chi^2 = 3.41$, $df = 5$, $p = 0.64$).

Dit resultaat was voor het onderzoeksteam aanvankelijk verwarrend. Immers: als het veterstrikpatroon de conversiesuccesratio zo sterk bepaalt via biomechanische paden, waarom dan niet bij de penalty? De bal-positie, de schoptechniek, de aanloophoek, al deze factoren zijn bij penalty's vergelijkbaar met conversies, en toch: geen effect.

Wij verwierpen de nulhypothese voor conversies ($p < 0.001$) maar konden haar voor penalty's niet verwerpen. Dit patroon suggereerde krachtig de aanwezigheid van een mediërende variabele die specifiek is voor de penaltysituatie.

4. Discussie

4.1 Biomechanische verklaring voor het conversie-effect

De mechanistische verklaring voor het conversie-effect ligt vermoedelijk in de proprioceptieve feedbacklus die tijdens het veterstrikken wordt geactiveerd. Een zorgvuldig, bilateraal-symmetrisch strikpatroon (VSP-4, VSP-6) induceert een consistente drukverdeling over het dorsale voetoppervlak. Dit optimaliseert de intra-schoenkinematiek tijdens de schopimpact, waarbij de metatarsofalangeale gewrichtspositie een kritieke rol speelt (vgl. Lees & Nolan, 1998, die dit destijds echter niet met veters in verband brachten).

De superieure prestaties van VSP-6-kickers zijn tevens consistent met de theorie van Motorische Ritualisering (Moran et al., 2015): een geïnternaliseerd, tijdsintensief pre-performance ritueel moduleert de corticospinale activiteit op een wijze die schopnauwkeurigheid bevordert. Het veterstrikpatroon fungeert daarmee als een lichamelijk anker voor de pre-motorische toestand.

4.2 Het penaltymysterie: de rol van Veterbewust Anticipatoire Spanning

De abruptie van het veterstikcorrelaat bij penalty's noodzaakt een alternatieve verklaring. Wij stellen de hypothese voor van Veterbewust Anticipatoire Spanning (VAS): een bij penalty's verhoogd bewustzijn van de veterstrikstatus die als cognitieve interferentiebron werkt.

Bij een conversie heeft de kicker enige tijd om zijn schopvoorbereiding te voltooien, waarbij het veterstrikritueel doorgaans goed geconsolideerd is in het procedureel geheugen. De kicker is zich — in goed gestrike toestand — niet bewust van zijn veters. Het bewustzijn is uitgeschakeld. De biomechanica kan zijn werk doen.

Bij een penalty ligt dit anders. De situatiedruk is acuter. De tijdsduur tussen de beslissing van de scheidsrechter en het uitvoeringsmoment is variabel. En er is cruciaal een specifiek anxiogeen scenario dat wij in 23 semigestructureerde interviews met professionele kickers hebben geïdentificeerd als significant aanwezig: de vrees dat de veter losraakt tijdens de aanloop of schopbeweging. Eén respondent (Kicker 17, Tier-1-internationaal, 67 caps) formuleerde het als volgt: 'Bij een conversie heb ik al twintig stappen gezet voor ik schopper. Dan weet ik: ze zitten goed. Maar bij een penalty, eerste stap twijfel ik. En dat twijfelen kost mij het schot.'

Deze kwalitatieve data zijn consistent met het VAS-model. De anticipatoire angst voor vetermislukking verstoort de automatisering van het schoppatroon en plaatst de kicker in een toestand van expliciete motorische monitoring, hetgeen, conform de Expliciete Monitoring Theorie (Masters, 1992), prestatieverslechtering induceert. Opmerkelijk is dat de succesratio hierdoor niet lager is dan bij conversies in absolute termen, maar dat het onderscheidend effect van het veterstrikpatroon wegvalt: zelfs VSP-6-kickers presteren niet beter dan VSP-1-kickers, omdat allen in gelijke mate onderhevig zijn aan VAS.

4.3 Beperkingen van dit onderzoek

Wij erkennen enkele methodologische beperkingen. Ten eerste: de classificatie van veterstrikpatronen via videomateriaal is afhankelijk van camerapositie en beeldkwaliteit in de kleedkamer, waarbij niet alle clubs cameras toestaan (met dank aan de clubs die meewerkten). Ten tweede: de SEI-score is een geconstrueerde maatstaf waarvoor externe validatie wenselijk is. Ten derde: het VAS-model is vooralsnog hypothetisch en dient getoetst te worden in een gecontroleerde experimentele omgeving, bij voorkeur met functionele MRI-imaging tijdens gesimuleerde penaltysituaties. Ten vierde: het aantal VSP-7observaties ($n = 30$) is te gering voor betrouwbare subgroepanalyse.

5. Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek toont voor het eerst empirisch aan dat het veterstrikpatroon een significante en zinvolle predictor is van conversiesucces in het professioneel rugby. Kickers met complexe, bilateraal-symmetrische strikpatronen (VSP-4, VSP-6) scoren gemiddeld 10 tot 18 procentpunt hoger dan kickers met asymmetrische of enkelvoudige patronen.

Bij penalty's is dit effect afwezig, hetgeen wij toeschrijven aan Veterbewust Anticipatoire Spanning (VAS), een construct dat nadere empirische onderbouwing verdient. De neurobiologische en psychofysiologische mechanismen van VAS dienen te worden onderzocht in toekomstige studies.

Op praktisch niveau bevelen wij aan dat rugbycoaches en kicking coaches de volgende maatregelen overwegen: (1) systematische instructie van veterstrikpatronen als onderdeel van de pre-match routine, (2) psychologische interventies gericht op de-automatisering van VAS-denkpatronen bij penaltyvoorbereiding, en (3) indien budgetten het toelaten: ontwikkeling van een smart-schoen met ingebouwde veterspanningssensoren, teneinde real-time proprioceptieve feedback te bieden.

Wij besluiten met de woorden van co-auteur Tanaka, uitgesproken tijdens de afsluitende onderzoeksbijeenkomst in Utrecht: 'De veter is niet slechts een functioneel bindmiddel. Hij is een brug tussen intentie en uitvoering. Wie zijn veter kent, kent zichzelf.' De data geven hem gelijk.

Dankwoord

De auteurs danken het International Rugby Performance Analytics Databaseteam voor toegang tot de videodatabank, de 43 kickers die anoniem hebben deelgenomen aan de interviews, en de studenten van de opleiding Sportbiomechanica in Utrecht die 847 uur aan videocodering hebben besteed voor een vergoeding van €9,50 per uur. Zonder hen was dit onderzoek mogelijk niet uitgevoerd, maar zeker minder nauwkeurig geweest.

Geen conflicten van belang te melden. Geen van de auteurs bezit aandelen in schoenvetersproducenten, hoewel co-auteur Boniface-Delacroix aangeeft dat zijn zwager dat overweegt.

Referenties

- Lees, A. & Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 211-234.
- Masters, R.S.W. (1992). Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83(3), 343-358.
- Moran, A., Bramwell, G. & O'Shea, H. (2015). Pre-performance routines in sport. In T. Morris & J. Summers (Eds.), *Sport Psychology: Theory, Applications and Issues* (3rd ed., pp. 328-351). Wiley.
- O'Brien, M., Mather, J. & Drury, B. (2018). Kicking in rugby union: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(5), 870-881.
- Podometrics International (2022). *Global Standardization of Athletic Footwear Lacing Nomenclature: Technical Report TR-2022-04*. PI Press, Geneva.
- Tanaka, K. & Liu, X. (2020). Towards a unified taxonomy of shoelace tying patterns in competitive sport. *Asian Journal of Footwear Science*, 4(1), 17-34.

Van der Berg, H. & Fourie, T. (2019). Goal-kicking mechanics in elite rugby: A three-dimensional kinematic analysis. *South African Journal of Sports Medicine*, 31(2), 45-53.

Yamamoto, S. & Strachan, C. (2021). Environmental modifiers of place-kicking accuracy: Wind, altitude and anxiety. *European Journal of Sport Science*, 21(8), 1129-1141.

Ontvangen: 14 januari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 9 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0047

Correspondentie: d.r.vanleeuwenhoek@uu.nl | *Journal of Rugby Performance Sciences* is een open access tijdschrift

Ontvangen: 14 januari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 9 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0047
Correspondentie: d.r.vanleeuwenhoek@uu.nl | *Bier, Bloed en Modder* is een open access tijdschrift

Hoogte boven Zeeniveau als Determinant van Spronghoogte bij de Line-out in het Professioneel Rugby:

Fysiologische Mechanismen, Velddata en Training implicaties voor Teams op Variërende Hoogteniveaus

F.J. Hoogendijk¹, C. Muñoz-Altiplano², B. Nkosi³, R. Fitzpatrick-Alpin⁴, D.R. van Leeuwenhoek¹

¹ Instituut voor Sportbiomechanica, Universiteit Utrecht | ² Instituto de Fisiología de Altura, Universidad de los Andes, Bogotá | ³ High Altitude Sports Performance Unit, University of Pretoria | ⁴ Scottish Institute for Mountain Rugby Research, Fort William

SAMENVATTING

Wij analyseerden 11.438 line-outs uit wedstrijden gespeeld op hoogteniveaus variërend van 0 tot 2.717 meter en maten de maximale spronghoogte via gestandaardiseerde videoanalyse. Onze bevindingen tonen een significante toename van de gemiddelde spronghoogte bij hogere altitude: +2.3 cm per 500 meter stijging ($p < 0.001$). Het mechanisme is tweeledig: lagere luchtdichtheid en verminderde gravitatiecorrectie. De Hoogtesprong Asymmetrie (HSA) — waarbij de jumper profiteert maar de lifters lijden onder hypoxie — wordt geïntroduceerd. De Altitude Line-out Index (ALI) wordt gepresenteerd als praktisch instrument.

Trefwoorden: line-out, spronghoogte, altitude, hypoxie, luchtdichtheid, lifters, jumper, hoogtetraïning, ALI

1. Inleiding

De line-out is in het moderne rugby geen simpele hervatting van het spel. Hij is een wapen. Teams als de Ierland van 2023, de Zuid-Afrika van 2019 en het France dat onder Galhié een near-perfect line-out percentage heeft bereikt, weten dat wie de line-out beheerst, het tempo en de ruimte van het spel beheerst. Coaches investeren duizenden trainingsuren in de nauwkeurigheid van de gooier, de timing van de sprong, de kracht van de lifters en het leesbaarheid van de gegeven signalen.

Wat coaches echter zelden in hun trainingsplan opnemen, is de vraag: op welke hoogte boven zeeniveau speelt mijn team volgende week? En wat doet die hoogte met de man die ik 2,5 meter de lucht in stuur?

De fysiologie van hoogte is een rijp onderzoeksveld (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Gore et al., 2013; Bärtsch & Saltin, 2008). De effecten van altitude op uithoudingsprestaties, VO_2 max, rode bloedcellen en lactaatrempel zijn uitputtend beschreven. De effecten op explosieve, kortdurende krachtexpressie — zoals de lijn-outsprong — zijn echter nauwelijks onderzocht, en de specifieke toepassing op de line-out vormt een vrijwel onontgonnen terrein.

Dit artikel vult die lacune. Wij presenteren de eerste grootschalige empirische analyse van de relatie tussen hoogte boven zeeniveau en spronghoogte in deprofessioneële rugby line-out, en verbinden deze bevindingen aan concrete, direct toepasbare trainingaanbevelingen.

2. Theoretisch kader: waarom hoogte de sprong beïnvloedt

2.1 Luchtdichtheid en luchtweerstand

Op zeeniveau bedraagt de luchtdichtheid (ρ) gemiddeld 1.225 kg/m^3 . Op 2.000 meter daalt dit naar circa 1.006 kg/m^3 — een reductie van approximately 18%. Voor een springende rugby-speler met een frontaal lichaamsprofiel van circa 0.6 m^2 betekent dit een meetbaar lagere luchtweerstandkracht ($F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$) tijdens de opwaartse beweging. Weliswaar zijn de absolute snelheden bij een line-outsprong (circa 2.8-3.4 m/s verticaal) relatief laag vergeleken met bijvoorbeeld wielrennen of zwemmen, maar bij hoge repetitie en marginale prestatieverschillen maakt ook een kleine reductie van luchtweerstand een verschil van millimeters tot centimeters in maximale spronghoogte.

Onze modellering (zie sectie 3.3) schat de pure luchtweerstandbijdrage aan de spronghoogteverbetering op gemiddeld 0.8 cm per 500 meter altitudestijging — bescheiden, maar significant bij een wedstrijd-niveau waarop 2 cm het verschil kan zijn tussen balwinstst en balverlies.

2.2 Gravitatie-uniformiteit en atmosferische drukverschillen

Een tweede, minder intuïtief mechanisme betreft de subtiele variatie in effectieve zwaartekrachtversnelling (g) met hoogte. Op zeeniveau bedraagt g gemiddeld 9.807 m/s^2 . Op 2.500 meter daalt dit naar circa 9.804 m/s^2 , een verschil van 0.03%, schijnbaar verwaarloosbaar. Echter: gecombineerd met de verminderde atmosferische druk op de lichaamskolom (hetgeen de effectieve belasting van de onderste ledematen marginaal reduceert), creëren beide factoren een licht verhoogde vluchtfase. De bijdrage van dit mechanisme aan de totale spronghoogtewinst schatten wij op 0.4 cm per 500 meter, minder dan de luchtweerstandcomponent, maar additief.

2.3 Het hypoxie-paradox: de lifters lijden meer dan de jumper

Terwijl de jumper profiteert van verminderde luchtweerstand, ondervinden de lifters een nadeel: hypoxie-geïnduceerde spierkrachtverlies. Milde hypoxie (pO_2 reductie bij 1.500-2.500 meter) beïnvloedt de fosfocreatinetussenvoorraden en de snelheid van ATP-resynthese in type-II-spiervezels, precies de vezels die worden gerekruteerd tijdens de explosieve liftersbeweging.

Onderzoek van Hamlin et al. (2012) toont aan dat maximale sprintkracht en explosieve beenkracht bij ongeacclimatiseerde spelers binnen 24-48 uur na aankomst op 2.000 meter met 4-7% kan afnemen. Wij kwantificeren dit in onze dataset als een reductie van de lifthoogte met gemiddeld 1.4 cm bij nietgeacclimatiseerde teams op altitude, een tegenwerkend effect dat de nettospronghoogtewinst substantieel beperkt.

Dit creëert een fascinerende paradox die wij de Hoogtesprong Asymmetrie (HSA) noemen: de jumper wint hoogte door fysica, de lifters verliezen kracht door fysiologie. Het netto-effect is positief maar kleiner dan de fysica alleen zou voorspellen.

3. Methoden

3.1 Dataverzameling

Wij analyseerden 11.438 line-outs uit 847 wedstrijden gespeeld tussen 2018 en 2025, in competities en locaties met bekende en gedocumenteerde hoogte boven zee-niveau. Locaties werden gecategoriseerd in vijf altitude-klassen (Tabel 1). Spronghoogten werden gemeten via gestandaardiseerde video-analyse (60 fps minimum, hoek < 15° van verticaal) waarbij de maximale positie van de balreceptiehanden van de jumper werd vergeleken met referentiepunten op de doelpalen (hoogte: 5.6 m conform World Rugby Regulation 22).

Tabel 1. Altitude-classificatie van geanalyseerde speellocaties.

Klasse	Hoogte (m)	Locaties (selectie)	n line-outs	Gem.luchtdichtheid (kg/m ³)
A0	0 - 100	Londen, Dublin, Cape Town, Auckland	3.847	1.222
A1	101 - 500	Edinburgh, Lyon, Brisbane	2.914	1.194
A2	501 - 1.000	Johannesburg (rand)	1.633	1.162
A3	1.001 - 1.800	Johannesburg (centrum), Mendoza	1.891	1.104
A4	1.801 - 2.800	Bogotá, La Plata (training), Addis Abeba (exhib.)	1.153	1.007

3.2 Correctievariabelen

Voor elke line-out werd geregistreerd: lichaamsgewicht van de jumper (kg), springcapaciteit-klasse (bepaald uit voorafgaand seizoensdata), acclimatisatiestatus van het bezoekende team (< 48u = 'niet geacclimatiseerd', 48-96u = 'gedeeltelijk', > 96u

= 'geacclimatiseerd'), windsnelheid op veldniveau (Beaufort), en teamidentiteit als random effect. Lineaire mixed modellen werden toegepast in R (lme4, versie 4.3.1).

3.3 Fysisch model

Parallel aan de empirische analyse ontwikkelden wij een analytisch fysisch model (het Hoogendijk-Muñoz model, HM-model) dat op basis van luchtdichtheid, lichaamsdimensies en gemeten sprongsnelheid de theoretische spronghoogtewinst berekent. Dit model werd gekalibreerd op de A0-klasse data en vervolgens gevalideerd op de overige klassen.

4. Resultaten

4.1 Spronghoogte per altitudeklasse

Tabel 2 toont de gemiddelde maximale spronghoogte van de jumper per altitudeklasse, gecorrigeerd voor lichaamsgewicht en springcapaciteit.

Tabel 2. Gemiddelde spronghoogte per altitudeklasse (gecorrigeerd, $n = 11.438$ line-outs).

Klasse	Gem. spronghoogte (cm)	SD	Verschild.o.v.A0 (cm)	95% BI verschil	Acclimatisatiestatus
A0 (ref.)	298.4	12.3	—	—	n.v.t.
A1	299.1	12.1	+0.7	[+0.2 - +1.2]	gemengd
A2	300.8	12.6	+2.4	[+1.7 - +3.1]	gemengd
A3 (niet accl.)	301.2	13.4	+2.8	[+1.9 - +3.7]	< 48 uur
A3 (geaccl.)	303.1	11.8	+4.7	[+3.8 - +5.6]	> 96 uur
A4 (niet accl.)	302.6	14.1	+4.2	[+3.0 - +5.4]	< 48 uur
A4 (geaccl.)	306.3	12.0	+7.9	[+6.5 - +9.3]	> 96 uur

De data bevestigen hypothese H1: er is een significant positief verband tussen hoogte en spronghoogte ($\beta = +2.3$ cm per 500 m, $p < 0.001$). Opmerkelijk is het acclimatisatie-effect: bij volledig geacclimatiseerde teams in klasse A4 loopt de spronghoogte winst op tot bijna 8 cm, het equivalent van een jumper die plotseling een halve schoensmaat groter is geworden, maar dan boven zijn hoofd.

4.2 Het HSA-effect: fysica versus fysiologie

Figuur 1 (niet weergegeven in deze tekstversie) toont de decompositie van het spronghoogteverschil in zijn drie componenten: luchtweerstandreductie, gravitatiecorrectie, en liftersreductie door hypoxie. Bij niet-geacclimatiseerde teams in klasse A3 compenseert het liftersverlies ruim 40% van de potentiële winst. Dit HSA-effect neemt af naarmate acclimatisatieduur toeneemt en verdwijnt vrijwel volledig bij > 10 dagen verblijf op hoogte, een bevinding met directe praktische betekenis (zie sectie 6).

4.3 Variabiliteit en uitbijters

Opvallend was de verhoogde variabiliteit in spronghoogte bij altitude (hogere SD in A3 en A4, Tabel 2). Kwalitatieve analyse suggereert dat individuele fysiologische respons op hoogte sterk verschilt: sommige lifters ondervinden nauwelijks hypoxisch spierverlies, anderen tot 9%. Dit impliceert dat de optimale line-out samenstelling op hoogte niet identiek hoeft te zijn aan de zeeniveausamenstelling, een inzicht dat onze interviewdata met vier internationale forwards coaches bevestigen.

5. Discussie

5.1 De luchtweerstand-component: klein maar consistent

De gemeten spronghoogte winst is reëel en reproduceerbaar, maar vraagt nuanceering. De bijdrage van luchtweerstandreductie is kleiner dan de bijdrage van acclimatisatie aan liftkwaliteit. Met andere woorden: een team dat goed geacclimatiseerd is op hoogte profiteert van beide kanten van de vergelijking, betere liftcapaciteit én minder luchtweerstand. Een niet-geacclimatiseerd team profiteert maar van één zijde en lijdt aan de andere.

Dit is een paradox die vergelijkbaar is met wat hoogtekennisspecialist en voormalig rugbyinternational Dr. Séamus O'Callaghan (fictief) de 'ijsberg van altitude' noemt: wat je ziet (lichte spronghoogte winst) is kleiner dan wat er onder zit (fysiologische kosten op korte termijn, voordelen op lange termijn).

5.2 Vergelijking met andere sporten

In het Afrikaans voetbal is het hoogteeffect bij wedstrijden in Johannesburg (1.753 m) uitvoerig gedocumenteerd: Europese en kustgebaseerde teams verliezen significant meer uitwedstrijden op hoogte dan gemiddeld (Pollard, 2006). In het rugby is dit effect tot dusver genegeerd, mede omdat de World Rugby regelgeving geen altitude-correctie kent — een lacune die, gezien onze bevindingen, heroverweging verdient.

In de atletiek is de invloed van luchtdichtheid op het verspringen gedocumenteerd: sprongen op hoogte worden met een marge-factor gecorrigeerd in world records. Wij bepleiten een analoge bewustwording in de rugbywereld, zij het zonder te pleiten voor het invoeren van een 'altitudegecorrigeerde line-out statistiek', al zou dat wel een intrigerende ontwikkeling zijn.

5.3 Beperkingen

De voornaamste methodologische beperking is de onmogelijkheid van gerandomiseerde experimentele toewijzing: teams reizen naar bepaalde locaties op basis van wedstrijdschema's, niet op basis van onderzoeksprotocollen. Daarmee is selectiebias (sterkere teams spelen meer internationale uitwedstrijden op hoogte) een persistente confounder ondanks onze randomeffects correctie. Voorts is de video-analyse van spronghoogte afhankelijk van camerapositionering en was bij 234 wedstrijden de kijkhoek onvoldoende voor betrouwbare meting, resulterend in uitsluiting van deze wedstrijden (2,7% van de steekproef).

6. Training implicaties

6.1 Acclimatisatie als strategische prioriteit

De meest robuuste praktische conclusie van dit onderzoek is ook de eenvoudigste: teams die op hoogte moeten spelen, dienen minimaal vijf dagen van tevoren te arriveren. Onze data tonen dat de overgang van 'niet geacclimatiseerd' naar 'geacclimatiseerd' in klasse A3 een spronghoogtewinst oplevert van bijna 2 cm en dit ten koste van slechts logistieke inspanning, niet van trainingsbelasting.

Coaches die budgettaire of planningsargumenten aanvoeren voor late aankomst op hoogte, wegen in feite euros af tegen centimeters line-out hoogte. Onze aanbeveling: leg dit artikel voor aan de teammanager.

6.2 Liftersselectie op hoogte

Niet alle lifters reageren gelijkmatig op hypoxie. Teams die regelmatig op hoogte spelen (denk aan Argentijnse provinciale competities, of preseizoenstages in de Alpen of Sierra Nevada) dienen systematisch te meten welke lifters de kleinste spierkrachtdaling vertonen bij altitude. Dit kan eenvoudig via gestandaardiseerde explosieve krachtmetingen (countermovement jump, CMJ) uitgevoerd in de eerste 24 en 72 uur na aankomst op hoogte. Individuele responsvariabiliteit is groot genoeg om de line-out samenstelling op hoogte te optimaliseren ten opzichte van zeeniveau.

6.3 Trainingsaanpassingen op hoogte

Voor teams die trainingstages op hoogte plannen — een populaire methode voor prestatieoptimalisatie in het modern rugby — gelden de volgende aanbevelingen op basis van dit onderzoek:

Ten eerste: plan line-out trainingen niet in de eerste 48 uur na aankomst. De lifters ondervinden maximale krachtverlies in deze periode, waardoor de jumper onnauwkeurige proprioceptieve feedback ontvangt over zijn normale vluchthoogte en -timing. Technische fouten die in deze periode worden ingetraind, kunnen persisteren na terugkeer op zeeniveau.

Ten tweede: gebruik de eerste hoogteperiode (dag 1-3) voor individueel krachttesten en technische videoanalyse. Identificeer welke lifters het snelst acclimatiseren. Gebruik deze informatie voor optimale selectie op dag 4 en daarna.

Ten derde: jumpers dienen te worden gewaarschuwd dat hun 'gevoel' van spronghoogte op hoogte enigszins zal afwijken van wat zij gewend zijn op zeeniveau. Zij komen iets hoger, maar de timing van de bal kan daardoor iets vroeger aanvoelen dan verwacht. Gooiers dienen hierop afgestemd te worden.

Ten vierde: bij terugkeer op zeeniveau na een hoogteperiode van meer dan tien dagen is een herkalibratietraining aanbevolen. Jumpers zijn gewend geraakt aan iets hogere ballontvangstpositie; gooiers en jumpers moeten hun onderlinge timing herijken.

6.4 Een voorstel voor de Altitude Line-out Index (ALI)

Wij stellen voor dat internationale en professionele teams een gestandaardiseerde Altitude Line-out Index (ALI) implementeren: een eenvoudige maatstaf die voor elke line-outsituatie de te verwachten spronghoogtewinst of -verlies voorspelt op basis van hoogte en acclimatisatiestatus. De ALI-formule, gebaseerd op het HM-model, is als volgt (vereenvoudigd):

$$ALI = (H / 500) \times 2.3 - (D \times 0.29) + (A \times 0.41)$$

waarbij H = hoogte boven zeeniveau in meters, D = acclimatisatietekort in dagen (0 indien volledig geacclimatiseerd), en A = aantal acclimatisatiedagen boven 1.500 meter in de afgelopen 30 dagen. De uitkomst is een gecorrigeerde spronghoogtewinst in centimeters ten opzichte van zeeniveauprestatie. Een ALIcalculator zal beschikbaar worden gesteld via de website van het Journal of Rugby Performance Sciences (onder constructie).

7. Conclusies

Dit onderzoek toont voor het eerst systematisch aan dat hoogte boven zeeniveau een statistisch significante en praktisch betekenisvolle invloed heeft op de spronghoogte in de rugby line-out. Het effect bedraagt gemiddeld +2.3 cm per 500 meter stijging en kan bij volledig geacclimatiseerde teams op 2.500 meter oplopen tot bijna 8 cm boven zeeniveauprestatie.

Het paradoxale HSA-mechanisme — waarbij de jumper profiteert van de fysica maar de lifters lijden onder de fysiologie — maakt acclimatisatie tot de doorslaggevende variabele. Teams die vroeg arriveren, optimaal profiteren; teams die laat arriveren, presteren onder hun technisch potentieel.

De training implicaties zijn concreet: plan hoogteperiodes strategisch, test lifters-respons individueel, herkalibeer na terugkeer, en overweeg implementatie van de ALI als standaardinstrument in uw lijn-outanalyse. De meters die u op hoogte wint of verliest, worden niet op de wedstrijddag bepaald. Ze worden bepaald in de week ervoor.

Dankwoord

De auteurs danken het Royal Meteorological Institute of Scotland voor het ter beschikking stellen van winddata, het IRPAD-team voor dataverlening, en de Argentijnse Rugby Unie voor onverwacht coöperatieve toegang tot trainingslocatiemetadata in de Cuyo-regio. Co-auteur Nkosi dankt zijn voormalige teamgenoten van de Blue Bulls, die onbewust als pilot-dataset hebben gediend voor zijn initiële observaties in Pretoria. Co-auteur FitzpatrickAlpin merkt op dat het onderzoek niet heeft bijgedragen aan zijn hoogtevrees, maar die ook niet heeft verholpen.

Referenties

Bärtsch, P. & Saltin, B. (2008). General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(S1), 1-10.

Gore, C.J., McSharry, P.E., Hewitt, A.J. & Saunders, P.U. (2013). Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(S1), 85-95.

Hamlin, M.J., Bhalskar, S. & Mcnaughton, L.R. (2012). Acute hypoxia and exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 934-941.

Levine, B.D. & Stray-Gundersen, J. (1997). 'Living high-training low': Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102-112.

Pollard, R. (2006). Home advantage in soccer: Variations in its magnitude and a literature review of the inter-related factors associated with its existence. *Journal of Sport Behavior*, 29(2), 169-189.

World Rugby (2023). *Laws of the Game: Rugby Union*. World Rugby Limited, Dublin.

Ontvangen: 28 januari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 17 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0051

Correspondentie: f.j.hoogendijk@uu.nl | *Journal of Rugby Performance Sciences* is een open access tijdschrift

Geaggregeerde Elektromagnetische Stralingsbelasting van Tribunepubliek op de Fysiologische en Cognitieve Prestatie van Professionele Rugbyspelers:

Een Veldonderzoek naar het Cumulatief Stralingsprofiel in Internationale Rugbystadions en de Neuromotorische Consequenties voor de Spelende Partij

W.H. Hertzmann¹, S. O'Callaghan², M. Dijkstra-Wave³, P. McScrumsworth⁴, D.R. van Leeuwenhoek¹

¹ Instituut voor Sportbiomechanica, Universiteit Utrecht | ² Department of Electromagnetic Sports Science, University College Dublin | ³ Laboratorium voor Draadloze Interferentie in Topsport, TU Delft | ⁴ School of Rugby Sciences, University of Bath

SAMENVATTING

Een uitverkocht rugbystadion herbergt tienduizenden smartphones die simultaan verbinding maken met celnetwerken. De geaggregeerde elektromagnetische straling (EMS) op veldniveau werd gemeten in 34 internationale rugbystadions en gecorreleerd met spelersprestatieparameters. Onze bevindingen tonen een significante negatieve correlatie tussen tribünestralingsintensiteit en cognitieve prestatieparameters ($r = -0.43$, $p < 0.01$), het sterkst in de laatste twintig minuten. Het Cumulatief Elektromagnetisch Vermoeidheidsyndroom (CEVS) en het Tribune Aggregatie Effect (TAE) worden geïntroduceerd.

Trefwoorden: elektromagnetische straling, smartphone, tribunepubliek, cognitieve prestatie, CEVS, TAE, 5G, neuromotorische interferentie

1. Inleiding

Op 23 november 2019 versloeg Engeland Nieuw-Zeeland met 19-7 in de halve finale van de Rugby World Cup in Yokohama. Het was een historische prestatie. Maar terwijl analisten de press-verdediging van Engeland analyseerden en de krachttekening van de Haka becommentarieerden, stelde niemand de vraag die ons team sindsdien heeft beziggehouden: wat deden de 67.000 smartphones in het stadion met de neurale verwerkingscapaciteit van de spelers op het veld?

De vraag klinkt absurd. Dat is precies waarom zij wetenschappelijk urgent is.

In een moderne internationale rugbywedstrijd is een uitverkocht stadion in wezen een gigantische antenne. Tienduizenden apparaten zenden simultaan signalen uit in de 700 MHz-3.5 GHz-band (4G/LTE) en de 3.5-26 GHz-band (5G), terwijl zij verbinding onderhouden met lokale celmasten, WiFi-hotspots en Bluetooth-apparaat. De geaggregeerde elektromagnetische stralingsdichtheid op veldniveau is, naar onze beste kennis nooit gemeten. Dit artikel doet dat voor het eerst.

Wij stellen dat de cumulatieve EMS-blootstelling van rugbyspelers gedurende een volledige wedstrijd een tot dusver genegeerde prestatievariabele is. Onze hypothesen zijn: (H1) de EMS-intensiteit op veldniveau correleert positief met tribünebezetting en smartphonegebruik; (H2) hogere EMS-intensiteit correleert negatief met cognitieve prestatie-maten van de spelende partij; en (H3) het effect is sterker in de tweede helft, wanneer neurale vermoeidheid de weerstand tegen externe elektromagnetische interferentie vermindert.

2. Achtergrond en theoretisch kader

2.1 Elektromagnetische straling en biologische systemen

De vraag of niet-ioniserende elektromagnetische straling in de frequentiebanden van mobiele telefonie biologische effecten heeft, is een van de meest besproken en gepolitiseerde kwesties in de biomedische wetenschap van de afgelopen dertig jaar (IARC, 2013; Hardell & Carlberg, 2015; ICNIRP, 2020). De wetenschappelijke consensus is dat blootstelling onder de ICNIRPgrenswaarden (2 W/kg als specifieke absorptiesnelheid, SAR) geen aangetoonde nadelige gezondheidseffecten heeft.

Wij begeven ons echter op een ander terrein. Wij onderzoeken niet chronische gezondheidseffecten, maar acute, kortdurende cognitieve effecten bij topsporters wier neurale systemen reeds maximaal belast worden door intensieve wedstrijdinspanning. Onze hypothese is niet dat smartphones kanker veroorzaken bij rugbyspelers maar dat is een andere discussie voor een ander tijdschrift. Onze hypothese is dat de geaggregeerde stralingsdichtheid van tienduizenden simultaan actieve apparaten een meetbaar, zij het subtiel, effect heeft op de neurale signaalverwerking van spelers die zich bevinden in een toestand van maximale fysiologische en cognitieve uitputting.

2.2 Het tribüne als stralingsbron: de aggregatiologica

Een individuele smartphone zendt in actieve toestand gemiddeld 0.6-1.2 W/kg uit (SAR op lichaamsniveau). Op enige afstand daalt de stralingsdichtheid snel als functie van het kwadraat van de afstand (inverse-kwadraatswet). Op 30 meter afstand is de bijdrage van één smartphone op veldniveau verwaarloosbaar.

Maar 60.000 smartphones zijn geen één smartphone. Zij zijn 60.000. En wanneer zij simultaan actief zijn, tijdens een cruciale eindsprint, een strafschop, een wedstrijd-bepalende line-out sommeren hun bijdragen zich tot een meetbaar geaggregeerd veld. Dit is wat wij het Tribüne Aggregatie Effect (TAE) noemen: het fenomeen waarbij de vectoriële som van individueel verwaarloosbare stralingsbijdragen een collectief meetbaar veld creëert op veldniveau.

De TAE is niet lineair. Synchrone pieken in smartphoneactiviteit die consistent optreden bij scoormomenten, gevaarlijke aanvallen en wedstrijd-bepalende momenten, creëren kortstondige stralingspulsen van significant hogere intensiteit dan het tijdsgewogen gemiddelde. Het is juist op deze momenten dat van spelers maximale cog-

nitieve scherpte wordt gevraagd. De timing is, vanuit prestatieoogpunt, ongunstig.

3. Methoden

3.1 EMS-meting op veldniveau

In samenwerking met het Laboratorium voor Draadloze Interferentie in Topsport (TU Delft) werden tijdens 34 internationale rugbywedstrijden gebreedband elektromagnetische veldmeters geplaatst op vier vaste posities op het veld: de twee 22-meteraanduidingen (voor- en achterveld) en de twee 10meteraanduidingen centraal. Gemeten werd de elektrische veldsterkte (V/m) in de frequentiebanden 700-900 MHz (4G laagband), 1800-2100 MHz (4G hoogband) en 3400-3800 MHz (5G). Metingen werden gecorrigeerd voor achtergrondstraling (gemeten twee uur voor aanvang) en omgezet naar stralingsdichtheid in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Publieksbezetting werd vastgelegd via officiële capaciteitsgegevens en aanvullend geschat op basis van warmtebeeldanalyse van tribüneopnames. Smartphoneactiviteit werd geproxied via de belasting van lokale celmasten (verkregen via samenwerkingsovereenkomst met twee Europese netwerkaanbieders die wensen anoniem te blijven om redenen die wij respecteren maar niet volledig begrijpen).

3.2 Prestatieparameters

Spelersprestatie werd gemeten via vier gevalideerde parameters: (1) reactietijd bij eerste balcontact na line-out (gemeten via high-speed video, 240 fps); (2) passnauwkeurigheid gedefinieerd als proportie geslaagde passes op korte afstand (< 5 meter) in druk; (3) beslissingssnelheid bij dribbel-of-pas keuze in open ruimte; en (4) positioneringsfout bij hervatting, gedefinieerd als afwijking in meters van de theoretisch optimale positie conform de pre-match bewegingskaart van het team. Deze parameters werden gescoord in blokken van twintig minuten.

Tabel 1. Overzicht gemeten stadions, bezetting en gemiddelde EMS-intensiteit op veldniveau.

Stadion	Capaciteit ($\times 1000$)	Gem. bezetting (%)	EMS gem. ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	EMS piek ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	5G aanwezig
Twickenham , Londen	82.0	97%	4.82	31.7	Ja
StadedeFrance, Parijs	81.3	94%	4.61	28.9	Ja
Millennium/ Principality,	74.5	99%	4.44	26.3	Ja

Stadion	Capaciteit (×1000)	Gem. bezetting (%)	EMS gem. ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	EMS piek ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	5G aanwezig
Cardiff					
AvivaStadium, Dublin	51.7	98%	3.87	22.1	Ja
Murrayfield, Edinburgh	67.1	91%	3.74	19.8	Gedeeltelijk
StadeVélodrome, Marseille	67.4	88%	3.52	18.4	Ja
EllisPark, Johannesburg	62.6	84%	3.11	14.7	Gedeeltelijk
SuncorpStadium, Brisbane	52.5	93%	3.28	16.2	Ja
Gem. overige stadions(n=26)	48.3	79%	2.64	12.1	Variabel

3.3 Statistische analyse

Correlaties zijn Pearson-r. Prestatieverschillen tussen wedstrijdblokken (0-20', 20-40', 40-60', 60-80') werden geanalyseerd via repeated-measures ANOVA met EMS-intensiteit als covariaat. Bonferroni-correctie werd toegepast voor multiële vergelijkingen. Alle analyses in R 4.3.1.

4. Resultaten

4.1 EMS-intensiteit: het tribüne-effect is meetbaar

Over alle 34 wedstrijden bedroeg de gemiddelde EMS-intensiteit op veldniveau $3.61 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ tijdens de wedstrijd, vergeleken met $0.18 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ in de twee uur voor aanvang — een factor 20 hoger. De pieken traden consistent op bij scoormomenten (gemiddeld +340% boven basisniveau) en bij toegekende strafschoppen (+280%). Dit bevestigt het TAE-mechanisme: publieksreacties gaan gepaard met explosieve stijgingen in smartphone-activiteit (delen van momenten, live commentaar, reacties op sociale media) die een direct meetbaar effect hebben op de veldstraling.

De correlatie tussen tribünebezetting en gemiddelde EMS-intensiteit was sterk ($r = 0.81$, $p < 0.001$). Stadions met 5G-dekking toonden significant hogere piekniveaus (+34% ten opzichte van 4G-only stadions, $p < 0.01$), hetgeen consistent is met de hogere transmissiefrequentie en de grotere bandbreedte die 5G-apparaten benutten.

4.2 Correlatie met cognitieve prestatieparameters

Tabel 2 toont de correlaties tussen de gemiddelde EMS-intensiteit per wedstrijdblok en de vier prestatieparameters.

Tabel 2. Correlaties tussen EMS-intensiteit en prestatieparameters per wedstrijdblok ($n = 34$ wedstrijden).

Prestatiemaat	0–20 min (r)	20–40 min (r)	40–60 min (r)	60–80 min (r)	Trend
Reactietijd(ms, neg.)	-0.12	-0.19	-0.31*	-0.47**	Toenemend
Passnauwkeurigheid (%)	-0.08	-0.14	-0.28*	-0.43**	Toenemend
Beslissingssnelheid(ms, neg.)	-0.11	-0.17	-0.29*	-0.44**	Toenemend
Positioneringsfout (m)	+0.09	+0.16	+0.31*	+0.49**	Toenemend

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$. Negatieve r -waarden bij tijdsparameters duiden op verslechtering (langere reactietijden).

Het patroon is consistent en onmiskenbaar: de correlatie tussen EMS en prestatieverslechtering is in het eerste kwart van de wedstrijd nauwelijks aanwezig en statistisch niet significant, maar neemt gestaag toe naarmate de wedstrijd vordert. In het vierde kwart bereiken alle vier prestatieparameters significante correlaties met de EMS-intensiteit ($r = -0.43$ tot -0.49 , $p < 0.01$).

Dit patroon is precies wat H3 voorspelde: naarmate de fysiologische en cognitieve vermoeidheid toeneemt, daalt de neurale weerstandsdrempel en wordt het elektromagnetisch veld een steeds betekenisvollere covariaat van prestatievariabiliteit.

4.3 Pieken en kritieke momenten

Een bijzonder opmerkelijke bevinding betreft de timing van EMS-pieken. Wij identificeerden 847 momenten in onze dataset waarop de EMS-intensiteit meer dan 200% boven het wedstrijdgemiddelde steeg. Van deze 847 pieken coincideerden er 612 (72.3%) met wat wij 'cognitief kritieke momenten' noemden: line-outs in de 22-meter zone, strafschoppen, en restarts na score.

Met andere woorden: het publiek pakt massaal zijn telefoon op het moment dat het spel maximale mentale helderheid van de speler vereist.

De ironie is volledig en prachtig: de supporter die zijn held wil fotograferen in het meest dramatische moment van de wedstrijd, draagt bij aan het elektromagnetisch veld dat, zo suggereren onze data, de cognitieve prestatie van diezelfde held licht maar meetbaar ondermijnt.

5. Het CEVS-model: Cumulatief Elektromagnetisch Vermoeidheidsyndroom

Op basis van onze bevindingen introduceren wij het Cumulatief Elektromagnetisch Vermoeidheidsyndroom (CEVS) als een nieuw te onderzoeken construct in de sportwetenschap. CEVS beschrijft het fenomeen waarbij de cumulatieve blootstelling aan geaggregeerde elektromagnetische straling van tribunepubliek gedurende een sportwedstrijd een versterker is van bestaande cognitieve vermoeidheid, niet als primaire oorzaak, maar als multiplicatieve factor.

Het CEVS-model stelt dat de neurale signaalprecisie van een speler afneemt als functie van zowel vermoeidheid (primaire determinant) als geaccumuleerde EMS-blootstelling (secundaire, modulerende determinant). De interactie is niet additief maar multiplicatief: een fitte speler in een uitverkocht stadion presteert niet meetbaar slechter door de straling; een vermoeide speler in hetzelfde stadion wel.

Dit verklaart waarom CEVS pas zichtbaar wordt in de data van het vierde wedstrijd-kwart: de neurale weerstandsdrempel is dan voldoende verlaagd door fysiologische vermoeidheid om de elektromagnetische covariaat statistisch zichtbaar te maken. In de eerste twintig minuten is de speler nog voldoende uitgerust om de subtiele interferentie te compenseren. Na zestig minuten intensief rugby is die compensatiereserve uitgeput.

6. Discussie

6.1 Zijn de effecten causaal of correlatief?

Wij erkennen de fundamentele beperking van ons onderzoeksdesign: de observationale opzet laat geen causale inferentie toe. De correlaties zijn consistent en significant in de verwachte richting, maar alternatieven verklaringen kunnen niet worden uitgesloten. Het meest voor de hand liggende alternatief is dat zowel EMS-piek als prestatieverslechtering gemeenschappelijke oorzaken hebben: wedstrijddruk in de slotfase, spelmomenten nabij de try-lijn, en fysieke uitputting verhogen zowel publieksopwinding (en dus smartphoneactiviteit) als spelersvermoeidheid.

Wij zijn ons van deze beperking bewust. Wij pleiten uitdrukkelijk niet voor een causale interpretatie van onze data. Wij pleiten voor vervolgonderzoek dat deze alternatieve verklaring kan uitsluiten, bij voorkeur via een gecontroleerd experiment met Faraday-kooi omsloten trainingsfaciliteiten en gesimuleerde EMS-blootstelling.

Het ontwerp van zulk een experiment is momenteel in ontwikkeling bij de TU Delft.

6.2 5G als versnellende factor

De bevinding dat 5G-stadions significant hogere EMS-piekwaarden vertonen is beleidsrelevant. Naarmate 5G-uitrol in stadions versnelt, een commercieel aantrekkelijke ontwikkeling voor netwerkaanbieders die premium livestreaming willen faciliteren, zal de maximale geaggregeerde stralingsdichtheid op veldniveau toenemen. Wij bevelen aan dat World Rugby en nationale rugbybonden de EMS-intensiteiten in eigen stadions laten meten en monitoren als onderdeel van hun prestatieomgevingsbeleid.

Dit is geen pleidooi voor 5G-verbod in rugbystadions. Dat zou zowel juridisch als praktisch onuitvoerbaar zijn, en bovendien zou het de halvering van de inkomsten uit digitale sponsoractivering riskeren, een argument dat in de bestuurskamers van rugbybonden waarschijnlijk meer gewicht heeft dan CEVS. Wij pleiten voor bewustwording en monitoring.

6.3 Vergelijking met andere sporten

Zijn rugbyspelers bijzonder kwetsbaar voor CEVS in vergelijking met spelers in andere sporten? Wij vermoeden van wel, om drie redenen. Ten eerste speelt rugby op een groot veld waarbij spelers zich bevinden op wisselende, maar soms zeer korte afstand van dicht bezette tribunes (met name bij line-outs nabij de zijlijn). Ten tweede vereist rugby een uitzonderlijk hoge mate van simultane cognitieve en fysiologische inspanning, waardoor de neurale weerstandsdrempel snel daalt. Ten derde is de wedstrijdduur (80 minuten) lang genoeg voor cumulatieve blootstelling, maar kort genoeg voor maximale publieksconcentratie gedurende de gehele wedstrijd.

Voetbal, waarbij spelers vergelijkbare afstanden afleggen maar de cognitieve belasting per spelmoment lager is verwachten wij minder gevoelig voor CEVS. Tennis, waarbij individuele spelers langdurig zeer dicht bij het publiek opereren verdient afzonderlijke analyse. Golf is vermoedelijk immuun: het publiek zwijgt en stopt zijn telefoon weg.

7. Praktische aanbevelingen

7.1 Voor spelersmanagement

Op basis van ons onderzoek bevelen wij aan dat professionele rugbyteams de volgende maatregelen overwegen. Ten eerste: het gebruik van lichtgewicht afschermdende kopbescherming met elektromagnetische demping in de frequentiebanden van 700 MHz-4 GHz. Dergelijke materialen bestaan (militaire toepassingen, elektromagnetisch gevoelige industriële omgevingen) maar zijn nog niet geconfigureerd voor sportgebruik. Wij verwachten dat de sportuitrustingsindustrie dit gat snel zal vullen zodra dit artikel de benodigde aandacht trekt.

Ten tweede: cognitieve interventieprogramma's specifiek gericht op de periode 60-80 minuten, waarbij spelers worden getraind in het herkennen en compenseren van subtiele beslissingsverstoring. Dit sluit aan bij bestaande Mental Toughness-trainingsprotocollen maar voegt een specifieke EMSbewustzijnscomponent toe.

Ten derde: pre-wedstrijdmeditatie in een EMS-arme omgeving (kleedkamer, tunnel) teneinde de neurale baseline zo hoog mogelijk te houden alvorens de speler wordt blootgesteld aan het geaggregeerde stralingsveld van het stadion.

7.2 Voor stadionbeheerders

Wij adviseren stadionbeheerders te investeren in EMS-monitoringapparatuur op veldniveau, analoog aan de luchtkwaliteitsmonitoring die in sommige stadions reeds bestaat. De data kunnen worden gedeeld met thuisploegen als onderdeel van het omgevingsprofiel van hun eigen stadion. Dat is een thuisvoordeel dat tot dusver onbenut is gebleven.

Een meer speculatieve maar wetenschappelijk interessante interventie zou zijn: het strategisch verzoeken aan publiekssectoren nabij kritieke speelzones (de 22meterzones, de zijlijnen bij verwachte line-outs) om smartphones tijdens specifieke speelmomenten op vliegtuigmodus te zetten. Wij erkennen dat de handhaving hiervan uitdagingen kent die de omvang van dit artikel te buiten gaan.

7.3 Voor regelgevende instanties

World Rugby heeft het voortouw genomen in de regulering van diverse omgevingsfactoren die spelersprestatie beïnvloeden: veldafmetingen, balspecificaties, uitrustings-eisen. Wij bevelen aan dat de World Rugby Performance Environment Taskforce (WPET — op te richten) EMS-monitoring opneemt in haar standaardprotocollen voor internationale wedstrijdlocaties. Een eerste stap zou zijn: de verplichte meting van EMS-basisniveaus op veldniveau bij alle Tier-1 teststadions.

8. Conclusies

Dit onderzoek toont aan dat de geaggregeerde elektromagnetische straling van tribüenepubliek een meetbare en statistisch significante correlaat is van cognitieve prestatieverslechtering bij professionele rugbyspelers in de laatste fase van een wedstrijd. Het effect is klein maar consistent, wordt versterkt door vermoeidheid en piekt op de momenten dat maximale cognitieve scherpte vereist is.

Wij introduceren het Cumulatief Elektromagnetisch Vermoeidheidsyndroom (CEVS) als nieuw theoretisch construct en roepen op tot gecontroleerd experimenteel vervolgonderzoek. De praktische implicaties reiken van spelersuitrusting en pre-wedstrijdvoorbereiding tot stadionontwerp en regelgeving.

Wij sluiten af met een observatie van co-auteur O'Callaghan, die tijdens de dataverzameling in Twickenham werd getroffen door de paradox die aan de kern van dit onderzoek ligt: 'Tachtigduizend mensen komen naar het stadion om hun helden te zien winnen, en collectief creëren ze een stralingsveld dat het winnen ietsje moeilijker maakt. Dat is menselijk, dat is sport, en eerlijk gezegd is het ook een beetje mooi.'

Vervolgonderzoek is dringend gewenst. De smartphones wachten niet.

Dankwoord

De auteurs danken de twee anonieme Europese netwerkaanbieders voor het delen van celmaastbelastingsdata, het technisch personeel van negen stadions dat toestond dat meetapparatuur werd geïnstalleerd op posities die 'eigenlijk niet toegankelijk zijn maar voor de wetenschap', en de 34 teams wier wedstrijden werden geanalyseerd zonder dat zij hiervan op de hoogte waren, hetgeen (wij erkennen dit) ethische vragen oproept die in een toekomstige correspondentie zullen worden geadresseerd. Co-auteur Dijkstra-Wave verklaart geen belang te hebben in producenten van elektromagnetische afschermingsmaterialen, maar geeft toe dat hij dat 'misschien toch eens moet onderzoeken'.

Referenties

Hardell, L. & Carlberg, M. (2015). Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma. *Pathophysiology*, 22(1), 1-13.

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013). Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 102.

ICNIRP (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), 483-524.

Kheifets, L., Repacholi, M., Saunders, R. & van Deventer, E. (2005). The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics*, 116(2), e303-e313.

Loughran, S.P., Wood, A.W., Barton, J.M. et al. (2005). The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *NeuroReport*, 16(17), 1973-1976.

Van Rongen, E., Saunders, R.D., van Deventer, E.T. & Repacholi, M.H. (2004). Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *Journal of Radiological Protection*, 24(3), 241-254.

World Rugby (2024). Welfare and Performance Environment Standards for International Fixtures. World Rugby Limited, Dublin.

Ontvangen: 3 februari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 19 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0058

Correspondentie: w.h.hertmann@uu.nl | Journal of Rugby Performance Sciences
is een open access tijdschrift

Ontvangen: 3 februari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 19 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0058
Correspondentie: w.h.hertmann@uu.nl | Bier, Bloed en Modder is een open access tijdschrift

De Gecoiffeerde Snor bij de Driekwartens versus de Baard bij de Voorwaartsen:

Gelaatsbehaardheid als Positionele Identiteitsmarker, Aerodynamische Factor en Sociaal-Psychologische Wedstrijdvariabele in het Professioneel Rugby Union

G.A. Moustakis¹, T. van Baardwijk², A. Flanagan-Hirsch³, C. Muñoz-Altiplano⁴, D.R. van Leeuwenhoek¹

¹ Instituut voor Sportbiomechanica, Universiteit Utrecht | ² Afdeling Trichologie & Sportkunde, Erasmus Universiteit Rotterdam | ³ Department of Facial Hair Dynamics in Team Sports, Loughborough University | ⁴ Instituto de Fisiología de Altura, Universidad de los Andes, Bogotá

SAMENVATTING

Dit artikel analyseert de systematische divergentie in gelaatsbehaardheid tussen voorwaartsen en driekwartens. Voorwaartsen dragen overwegend volle of halve baarden; driekwartens vertonen een toenemende prevalentie van de gecoiffeerde snor. Wij onderzoeken dit vanuit drie invalshoeken: aerodynamische consequenties, sociaalpsychologische cohesiefunctie (Snor Coiffure Effect, SCE), en tactische leesbaarheid voor de tegenstander (Beard Deterrence Index, BDI). Op basis van morfologische analyse van 1.203 professionele rugbyspelers presenteren wij het Gelaatsbehaardheids-Positioneel Congruentie Model (GPCM).

Trefwoorden: gelaatsbehaardheid, snor, baard, driekwarte, voorwaartse, aerodynamica, SCE, BDI, GPCM, trichologie

1. Inleiding

In de zomer van 2022 verscheen de Australische driekwartlijn op het trainingsveld van de Waratahs met een synchroniciteit die de aanwezige journalisten meer opviel dan de patroontraining die volgde: alle vier de driekwartens droegen een snor. Niet incidenteel, niet toevallig maar duidelijk gecoiffeerd, gelijkmatig bijgehouden, en gedragen met de ontspannen zelfverzekerdheid van mannen die een statement maken zonder dat statement te willen toelichten.

Tegelijkertijd speelden in de kleedkamer verderop de voorwaartsen hun wekelijkse kaartspel, hun gezichten omlijst door de volle, weelderige en volstrekt ongecoiffeerde baarden waarmee zij al weken het veld betraden. Geen twee baarden hetzelfde. Geen poging tot afstemming. Puur individueel, puur organisch en toch, als collectief, onmiskenbaar coherent.

Dit contrast, de gecoiffeerde snor van de backs versus de soevereine baard van de forwards is geen toeval. Het is, zo betogen wij in dit artikel, een symptoom van dieper liggende psychologische, aerodynamische en tactische verschillen tussen de twee fundamentele spelerstypen in het rugby. En het heeft, zo zullen wij aantonen, een meetbare invloed op het wedstrijdverloop.

De sportwetenschappelijke literatuur heeft gelaatsbehaardheid in de atletische context nauwelijks serieus genomen. Uitzonderingen zijn de studie van Dixson & Vasey (2012) over baard en dominantieperceptie in mannelijke atleten, en het vroege werk van Pelham & Hetts (1999) over zelfconceptconsistentie in teamprestatie. Een specifiek kader voor rugby ontbreekt volledig. Dit artikel vult die lacune, met de grondigheid en het gebrek aan schaamtegevoel dat het onderwerp verdient.

2. Theoretisch kader

2.1 De baard als voorwaartse identiteitsconstructie

De voorwaartse in het rugby is evolutionair gevormd door twee primaire taken: fysiek contact en collectieve arbeid. De scrum, de line-out, de ruck, de maul — het zijn allen activiteiten waarbij individuele expressie ondergeschikt is aan collectieve functie. En toch: de baard van de voorwaartse is bij uitstek individueel. Geen twee lozen dezelfde baard. De prop draagt een brede, aardse baard die het gevoel geeft dat het gezicht al eeuwen bestaat. De flanker heeft een scherpe, hoekige baard die meeschuurft met zijn tackling-mentality. De nummer acht heeft, statistisch aantoonbaar (zie sectie 4.1), de meest dramatische baard van het veld.

Wij interpreteren de baard van de voorwaartse als een compensatiemechanisme voor positionele anonimiteit. De voorwaartse scoort zelden. Hij wordt zelden gefotografeerd in individuele glorie. Zijn baard is zijn persoonlijke vlag, geplant in een spelopvatting die hem anders dreigt op te slokken in de massa. De baard zegt: ik ben er. Ik ben meer dan het gewicht dat ik in de scrum zet.

2.2 De gecoiffeerde snor als backs-cohesiemechanisme

De driekwartter opereert anders. Zijn vak is ruimte lezen, timing, communicatie en onderlinge afstemming. De driekwartlijn is een machine van vier of vijf schakels die alleen functioneert als elke schakel de anderen aanvoelt. Het is geen toeval dat coaches de driekwartlijn beschrijven in termen van muziek: ritme, timing, harmonie.

De gecoiffeerde snor past in dit plaatje als een missing piece die we nooit hebben gezocht. Wanneer vier backs dezelfde snor dragen, creëren zij een visuele synchroniteit die de onderlinge afstemming versterkt. Wij noemen dit het Snor Coiffure Effect (SCE): de hypothese dat gedeelde gelaatsbehaardheid binnen een functionele eenheid de groepsidentificatie versterkt, de communicatiedrempel verlaagt en de reactiesnelheid op elkaars bewegingen verbetert. Het SCE is een bijzonder geval van de bredere theorie van Behavioural Synchrony als Cohesiemechanisme (Wiltermuth & Heath, 2009), toegepast op het unieke domein van bovenlipbehaardheid.

3. Methoden

3.1 Morfologische classificatie van gelaatsbehaardheid

Op basis van gestandaardiseerde wedstrijd fotografie en spelersprofielfoto's van 1.203 professionele rugbyspelers uit twaalf Tier-1-landen (seizoenen 2019-2025) codeerden twee onafhankelijke onderzoekers de gelaatsbehaardheid in zeven categorieën (Tabel 1). De inter-rater betrouwbaarheid was uitstekend ($\kappa = 0.87$), zij het dat er bij categorie GBK-5 ('de filosofische baard') enige discussie bestond over de grens met GBK-4 ('de romantische baard'), een discussie die uiteindelijk meer filosofisch dan empirisch van aard was.

Tabel 1. Classificatie van gelaatsbehaardheidstypes met positionele prevalentie.

Code	Type	Omschrijving	Prev.voorwaartsen	Prev. driekwart
GBK-1	Glad geschoren	Geen zichtbare behaardheid	8%	31%
GBK-2	Stoppels	1-4dagengroei, onbehaard	19%	22%
GBK-3	De gecooiffeerde snor	Bovenlipbehaardheid, bijgehouden, ≥ 2 teamgenotenidentiek	2%	24%
GBK-4	De romantische baard	Kort, verzorgd, enigszins literair van karakter	14%	16%
GBK-5	De filosofische baard	Medium lengte, onderhouden maar nadenkend	18%	5%
GBK-6	De volle baard	Volledig, weelderig, ecologisch verantwoord aandoend	27%	2%
GBK-7	Deepische baard	Onmiskkenbaar statement, lengte > 8 cm, soms gevlochten	12%	0%

De tabel toont reeds het kernpatroon: de gecoiffeerde snor (GBK-3) is vrijwel exclusief een backs-fenomeen (24% prevalentie versus 2% bij voorwaartsen). De epische baard (GBK-7) is uitsluitend waargenomen bij voorwaartsen. Geen enkele driekwart in onze steekproef droeg een baard van meer dan 8 centimeter. Dit verschil is statistisch significant ($\chi^2 = 847.3$, $df = 6$, $p < 0.001$) en robuust over alle geanalyseerde landen en competities.

3.2 Wedstrijdprestatieparameters

Voor de analyse van wedstrijdeffecten werden vier parameters geselecteerd: (1) breaks per wedstrijd voor backs (indicatief voor individuele snelheid en beslissingskwaliteit); (2) meters gewonnen per carry voor backs; (3) succespercentage gewonnen Ricks (rucks won) voor voorwaartsen; en (4) intimidatiefactor van de voorwaartse, geoperationaliseerd als het percentage gevallen waarbij een tegenstander een tackle afbrak of ontwijk bij benadering — een maat die wij de Beard Deterrence Index (BDI) hebben gedoopt en die wij als bijdrage aan de literatuur beschouwen.

4. Resultaten

4.1 Positionele behaardheidsprofielen: de nummer acht als uitschie-

Tabel 2 toont de gemiddelde behaardheidsscore (schaal 1-7, gebaseerd op GBK-classificatie) per positie.

Tabel 2. Gemiddelde behaardheidsscore per positie ($n = 1.203$ spelers, schaal 1–7).

Positie	Gem. behaardheidsscore	SD	Meestvoorkomend type	Notabeleuitschieter
Looseheadprop(1)	5.4	1.2	Volle baard (GBK-6)	Derde baard ter wereld (2023)
Hooker (2)	4.8	1.4	Filosofischebaard (GBK-5)	—
Tighthead prop (3)	5.7	1.1	Volle baard (GBK-6)	Zwaarstebaardper cm^2
Locks (4,5)	5.1	1.3	Volle/Filosofische baard	—
Blindsideflanker(6)	5.3	1.2	Volle baard (GBK-6)	—
Openside	4.9	1.5	Romantische	Meest

Positie	Gem. behaardheids-score	SD	Meestvoorkomend type	Notabeleuitschieter
Flanker (6, 7)			baard (GBK-4)	aerodynamische baard forwards
Number eight (8)	6.2	0.9	Epische baard (GBK-7)	Hoogstescorealle posities ***
Scrumhalf (9)	3.1	1.6	Stoppels / Snor	Brugfunctie forward-backzichtbaar
Flyhalf (10)	2.8	1.4	Glad / Stoppels	—
Centers (12, 13)	3.4	1.5	Gecoiffeerde snor (GBK-3)	Hoogste SCE-coëfficiënt
Wings (11, 14)	2.3	1.3	Glad / Snor	Laagsteluchtweerstand veld
Fullback (15)	2.6	1.4	Stoppels / Snor	—

*** $p < 0.001$ ten opzichte van alle andere posities. Bonferroni-gecorrigeerd.

De nummer acht steekt er significant bovenuit met een gemiddelde score van 6.2, de hoogste van alle posities en statistisch significant hoger dan de op één na hoogste (tighthead prop, 5.7; $p < 0.001$). Dit bevestigt wat ervaren rugbykenners al decennialang aanvoelden maar nooit hadden onderbouwd: de nummer acht heeft de meest dramatische baard op het veld. De verklaring ligt in de unieke positie van de nummer acht als schakel tussen de geordende chaos van de scrum en de vloeiende ruimte van de backs — een existentiële tweeslachtigheid die zich uitdrukt in epische gelaatsbehaardheid.

Aan de andere kant van het spectrum: de wings (score 2.3) zijn de minst behaarde spelers op het veld. Dit is niet alleen esthetisch relevant maar, zoals sectie 4.2 zal aantonen, aerodynamisch significant.

4.2 Aerodynamische consequenties: de snor als weerstandsreducerende technologie

Bij hoge loopsnelheden (> 8 m/s, gebruikelijk bij backs in open veld) creëert gelaatsbehaardheid een meetbare luchtweerstandsc component. Wij modelleerden de aerodynamische weerstand van verschillende behaardheidstypen bij loopsnelheden van 8-11 m/s (het bereik van professionele wings en centers in sprint).

De resultaten zijn verrassend genuanceerd. Een volle baard (GBK-6) bij een speler met een gemiddeld gezichtsoppervlak van 350 cm² genereert bij 9 m/s een additionele luchtweerstandskracht van 0.031 N, verwaarloosbaar voor een voorwaartse die zelden hogere snelheden bereikt, maar voor een vleugel in een 40-meterse sprint over 4.5 seconden cumulerend tot een tijdverlies van 0.008 seconden. Op het eerste gezicht triviaal. In het moderne rugby, waar tackles worden gemist met marges van centimeters en intercepts worden berekend op milliseconden, is 0.008 seconden de grens tussen een try en een misser.

De gecoiffeerde snor (GBK-3) toont een opmerkelijk ander profiel. De snor genereert bij hogere snelheden een subtiel Coandă-effect langs de bovenlip: de luchtstroom wordt iets omgeleid, wat de turbulentie rond het neusgat vermindert en de ademhalings efficiëntie marginaal verbetert. Wij kwantificeren dit als een VO₂-equivalent voordeel van 0.3 ml/kg/min bij maximale inspanning, klein maar reproduceerbaar in ons windtunnel-protocol (uitgevoerd in de aerodynamische tunnel van de TU Delft met gefabriceerde gezichtsmodellen, een sessie die de technische staf van de faculteit met gemengde gevoelens bezag).

4.3 De Beard Deterrence Index en voorwaartse dominantie

De BDI (het percentage gevallen waarbij een tegenstander een tackle afbrak bij benadering van een behaard voorwaartse) toont een significante positieve correlatie met behaardheidsscore ($r = 0.58$, $p < 0.001$). Met andere woorden: hoe imponanter de baard, hoe groter de kans dat een aanvallende speler op het laatste moment besluit dat hij toch liever een andere optie neemt.

Dit effect is het sterkst bij de epische baard (GBK-7, BDI = 0.23) en vrijwel afwezig bij gladgeschoren voorwaartsen (GBK-1, BDI = 0.04). De BDI is niet gerelateerd aan lichaamsgewicht of tackling-statistieken van de behaarde speler zelf — het is puur een perceptueel effect. De baard communiceert iets dat de aanvaller, bewust of onbewust, als een waarschuwing registreert.

Wij beschouwen dit als de meest originele bevinding van dit artikel. De baard van de voorwaartse is niet slechts een esthetische keuze of een identiteitsmarker — het is een tactisch wapen. Een onbewust, ongereguleerd, World Rugby-niet-verboden tactisch wapen.

4.4 Het Snor Coiffure Effect: empirische bevestiging

Teams met drie of meer backs die een gecoiffeerde snor droegen ($n = 47$ teams in onze dataset) toonden een significant hogere passing-nauwkeurigheid in de driekwartlijn (81.3% versus 74.7% bij niet-gecoiffeerde teams, $p < 0.01$) en een hogere breaks-per-wedstrijd score (+1.8 breaks per 80 minuten, $p < 0.05$). Het SCE is statistisch aantoonbaar.

De meest spectaculaire case study biedt de Ierse driekwartlijn van het Six Nations 2023: alle vier de backs droegen in de cruciale wedstrijd tegen Frankrijk identieke, zorgvuldig bijgehouden snorren. Ierland won. Wij trekken hieruit geen causale conclusies maar wij vermelden het wel.

5. Discussie

5.1 De scrumhalf als trichologische brugfiguur

Een bijzondere positie in onze data neemt de scrumhalf in: met een gemiddelde behaardheidsscore van 3.1 bevindt hij zich exact tussen de behaarde wereld van de voorwaartsen en de gesnorde wereld van de backs. Dit is geen toeval. De scrumhalf is de schakel, de vertaler, de menselijke interface tussen twee totaal verschillende spelerscultures. Zijn gelaatsbehaardheid weerspiegelt zijn positie: noch de epische baard van de pack, noch de gecooiffeerde snor van de backs. Hij pendelt, in behaardheid zoals in spel, tussen twee werelden.

Wij stellen voor dat de scrumhalf behaardheidsscore in toekomstig onderzoek wordt meegenomen als indicator van de verbindingkwaliteit tussen forwards en backs binnen een team. De hypothese dat scrumhalves met een behaardheid dicht bij de forwards-kant beter functioneren als distributeur in gestructureerd spel, terwijl scrumhalves met een backs-behaardheid beter presteren in open, ongepland spel verdient empirische toetsing.

5.2 De vlieghalf: de uitzondering die de regel beves-

De flyhalf is statistisch de minst behaarde niet-vleugel op het veld (score 2.8). Dit is opvallend: als organisator van de backs zou men verwachten dat hij de gecooiffeerde snor zou adopteren als teken van groepsleiderschap. Dat doet hij niet. Wij verklaren dit vanuit de bijzondere psychologische positie van de flyhalf: hij is de denker, de regisseur, de man die het spel leest. Een snor is een uitnodiging tot coördinatie. De vlieghalf coördineert anderen, maar laat zich zelf niet coördineren, ook niet in behaardheid. Zijn gladde of licht gestoppelde gezicht is het gezicht van iemand die de touwtjes in handen heeft zonder dat dit zichtbaar te willen maken.

De uitzondering: flyhalves die wél een volle baard dragen presteren statistisch aantoonbaar slechter in de beslissingssnelheid bij complexe verdedigingspatronen ($p < 0.05$). Onze interpretatie: de baard van de flyhalf verstoort zijn cognitieve roolidentiteit. Hij voelt zich forwards. Hij denkt forwards. Hij verliest fractiesseconden die hij zich niet kan veroorloven. Zijn baard is een identiteitscrisis in haargroei.

5.3 Het Gelaatsbehaardheids-Positioneel Congruentie Model (GPCM)

Op basis van onze bevindingen formuleren wij het GelaatsbehaardheidsPositioneel Congruentie Model (GPCM): de hypothese dat optimale wedstrijdprestatie samengaat met congruentie tussen de gelaatsbehaardheidsstijl van een speler en de normatieve behaardheidsstijl van zijn positie. Afwijking van deze norm, een kaalgeschoren prop, een winger met een epische baard, gaat gepaard met suboptimale prestaties op positionele kerntaken.

Het GPCM is niet normatief: wij schrijven spelers niet voor hoe zij hun gezicht te behaarden. Het is descriptief: wij beschrijven een consistent patroon in de data en bieden een verklaringsmodel. Of dit patroon causaal is (de juis-

te baardverbetert de prestatie) of selectief (betere spelers convergeren vanzelf naar de positionele behaardheidsnorm) laten wij open voor vervolgonderzoek.

5.4 Regelgevende overwegingen

Dient World Rugby gelaatsbehaardheid te reguleren? Het antwoord is nee, om ten minste drie redenen: (1) de effectgroottes zijn te klein voor een zinvol beleidsinstrument; (2) handhaving zou logistiek en politiek een nachtmerrie zijn; en (3) de baard van de voorwaartse is een cultureel erfgoed dat wij niet wensen te reguleren, beschermen of anderszins aanraken. Wij bevelen uitdrukkelijk aan dat World Rugby dit artikel niet gebruikt als aanleiding voor regelgeving. Wij bevelen wél aan dat coaches het gebruiken als gespreksstarter bij het samenstellen van hun driekwartenslinie.

6. Conclusies

Dit onderzoek heeft aangetoond dat gelaatsbehaardheid in het professioneel rugby geen triviale esthetische variabele is, maar een functioneelpsychologische indicator met meetbare wedstrijdrelevantie. De gecouffeerde snor van de driekwarte fungeert als cohesiemechanisme dat de onderlinge afstemming binnen de backs-linie versterkt (SCE). De baard van de voorwaartse fungeert als intimidatie-instrument dat de aanvalsbereidheid van de tegenstander meetbaar vermindert (BDI). De flyhalf is gladgeschoren omdat hij leidt zonder coördinatie te signaleren. De nummer acht heeft de meest dramatische baard van het veld omdat hij bestaat op de grens tussen twee werelden en dit niet anders kan uitdrukken.

De scrumhalf staat er tussenin. Zoals altijd.

Het GPCM biedt een theoretisch kader dat toekomstig onderzoek kan gebruiken om de relatie tussen gelaatsidentiteit en sportprestatie verder te preciseren. Wij roepen collega-onderzoekers op dit veld te betreden — en daarbij, voor de geloofwaardigheid van het vakgebied, zelf gepaste gelaatsbehaardheid te dragen.

Dankwoord

De auteurs danken de fotografen van World Rugby, de Premiership, het Pro14/URC en het Super Rugby voor de uitstekende profielfotografie die de basis vormde van onze morfologische analyse. Bijzondere dank aan de kapper van het Ierse nationale team, die bereid was zijn observaties te delen onder de voorwaarde van anonimiteit. Co-auteur Van Baardwijk (de naam is niet gefingeerd) benadrukt dat zijn eigen baard, categorie GBK-5, hem niet heeft belet objectief onderzoek te doen, maar dat die suggestie ook niet welkom is. Co-auteur Flanagan-Hirsch draagt zelf een gecouffeerde snor, wat de andere auteurs enigszins ongemakkelijk maakte tijdens de peer review maar als methodologisch self-disclosure wordt beschouwd.

Geen financiële belangen te melden. De TU Delft-windtunnel is niet beschikbaar voor privégebruik en wij bedanken de afdeling Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek voor hun geduldige samenwerking.

Referenties

Dixson, B.J. & Vasey, P.L. (2012). Beards augment perceptions of men's age, social status, and aggressiveness, but not attractiveness. *Behavioral Ecology*, 23(3), 481-490.

Pelham, B.W. & Hetts, S. (1999). Self-concept consistency and implicit selfconcept. *Basic and Applied Social Psychology*, 21(1), 1-15.

Stirrat, M. & Perrett, D.I. (2010). Valid facial cues to cooperation and trust: Male facial width and trustworthiness. *Psychological Science*, 21(3), 349-354.

Wiltermuth, S.S. & Heath, C. (2009). Synchrony and cooperation. *Psychological Science*, 20(1), 1-5.

Wisman, A. & Goldenberg, J.L. (2005). From the grave to the cradle: Evidence that mortality salience engenders a desire for offspring. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(1), 46-61.

World Rugby (2025). *Player Appearance and Uniform Regulations: Technical Standards Document 18-C*. World Rugby Limited, Dublin.

Ontvangen: 11 februari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 20 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0063

Correspondentie: g.a.moustakis@uu.nl | *Journal of Rugby Performance Sciences* is een open access tijdschrift

Ontvangen: 11 februari 2026 | Geaccepteerd na peer review: 20 februari 2026 | DOI: 10.7391/jrps.2026.0063

Correspondentie: g.a.moustakis@uu.nl | *Bier, Bloed en Modder* is een open access tijdschrift

BIER, BLOED EN MODDER — DE WETENSCHAPSEDI-

Journal of Rugby Performance Sciences | Vol. 7 Themanummer | © 2026 International Rugby Research Consortium

*"De wetenschap heeft de plicht te verklaren wat de rugby weigert te begrijpen."
— Prof. Dr. D.R. van Leeuwenhoek, openingsrede IRRC-congres 2025, Utrecht*
