

Fysiologische en biomechanische aspecten van de fysieke belasting in teamsporten

AUTEUR & CO-AUTEUR(S): Vanrenterghem J.
REDACTEUR: Bloemen D.
ONDERZOEKSIJNSTITUUT: Faculteit Bewegings- en Revalidatiewetenschappen (FaBeR), KU Leuven

ABSTRACT

De voorbije decennia is het gebruik van sensoren om de fysieke belasting tijdens sportbeoefening in te schatten (bijvoorbeeld via hartslagmeters, GPS, of accelerometers) enorm toegenomen. Ook bij teamsporters, waar die fysieke belasting heel erg afhankelijk is van spelpositie en context, is er een enorme opmars. Met die enorme toevloed aan data bestaat het gevaar dat de gebruiker een (figuurlijk) loopje neemt met de waarheid, of met andere woorden, dat diens interpretatie enigszins afwijkt van de wetenschappelijk onderbouwde principes. Om coaches en trainers een beter inzicht te geven in de samenhang tussen verschillende soorten data omtrent de fysieke belasting van een teamsporter, werd recent een nieuw framework voorgesteld (1): het 'training load monitoring framework'. Dit framework beschrijft hoe fysiologische en biomechanische belasting voor structurele aanpassingen van het lichaam zorgen, en hoe men die belasting via externe al dan niet interne meting kan proberen inschatten.

Slutelwoorden: training monitoring, prestatiebevordering, blessurepreventie
Datum: 01/07/2017
Extra bronnen:
Contactadres: jos.vanrenterghem@kuleuven.be

Disclaimer: Het hierna bijgevoegde product mag enkel voor persoonlijk gebruik worden afgehaald. Indien men wenst te dupliceren of te gebruiken in eigen werk, moet de bovenvermelde contactpersoon steeds verwittigd worden. Verder is een correcte bronvermelding altijd verplicht!



KU LEUVEN

**VLAAMSE
TRAINERSSCHOOL**
SPORT VLAANDEREN - SPORTFEDERATIES
UNIVERSITEITEN EN HOGESCHOLEN LO

Inleiding

Het meten van de fysieke belasting in teamsport begon in de jaren '70, met het noteren van de verschillende activiteiten en de geschatte loopafstanden tijdens wedstrijden (2). Door de opkomst van de geautomatiseerde videoregistratie, en iets later ook Global Positioning System (GPS), werd het steeds makkelijker om dit soort data ook tijdens trainingen te registreren en snel ter beschikking te hebben. Daarnaast werden andere sensoren ook meer en meer beschikbaar voor iedereen (denk bijvoorbeeld aan hartslagmeters en accelerometers) en nam de gebruiksvriendelijkheid toe.



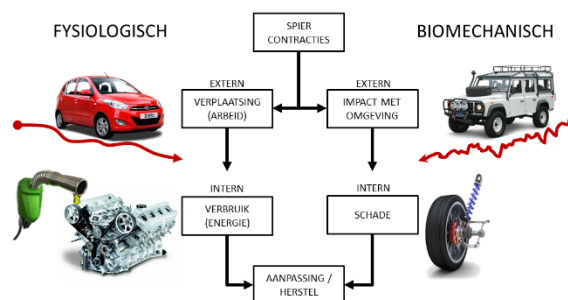
Figuur 1. Het dragen van GPS op training gebeurt steeds meer in teamsporten, en is sinds kort ook toegelaten tijdens wedstrijden van eerste en tweede klasse in het Belgisch voetbal.

De optimalisatie, validatie, en integratie van al die technologieën heeft tijdens het voorbije decennium een enorme groei gekend, en zodoende bestaat er anno 2017 een snel groeiende industrie om allerlei sensoren in de sport te introduceren (Prozone, Catapult, Statsports, enz.), alsook wetenschappelijke groeperingen die zich specialiseren in training load monitoring (<http://www.aspire.qa/trainingload2016/>). Met deze razendsnelle ontwikkelingen bestaat er echter het gevaar dat commerciële doeleinden de overmacht gaan nemen, en dat de wetenschap hopeloos achterop hinkt. Vooral variabelen zoals 'dynamic stress load' (3), 'new body load' (4), 'force load' (5) of 'player load' (6,7) zijn bijzonder aantrekkelijk in de praktijk, maar het interpreteren van die variabelen is voor de trainer of coach soms moeilijk te koppelen

aan solide wetenschappelijke principes, laat staan ze te koppelen aan wetenschappelijke bewijzen vanuit experimenteel onderzoek.

Fysiologisch en biomechanisch luik van fysieke belasting

De relatie tussen fysieke belasting en prestatiebevordering wordt in de praktijk gelegd vanuit de principes van supercompensatie: na sportbeoefening is er ter compensatie een goed afgestemde periode van rust en herstel nodig die kan leiden tot een tijdelijke verbetering van de capaciteit van ons lichaam, supercompensatie dus (8). Deze aanpassingen kunnen uithouding, snelheid, kracht of vermogen ten goede komen, maar indien de timing van fysiek belastende sportbeoefening niet accuraat is, zal er geen supercompensatie zijn en is er zelfs risico op overbelasting (te vroeg) of onderbelasting (te laat). Zoals schematisch weergegeven in Figuur 1, liggen spiercontracties aan de basis van de sportbeoefening, en is de hoeveelheid verplaatsing (afgelegde weg) sterk gerelateerd aan de hoeveelheid energie die wordt verbruikt.



Figuur 2. Overzicht van het fysiologisch en biomechanisch luik in de relatie tussen spiercontracties en aanpassingen/herstel tijdens sportbeoefening.

Dit is een sterk vereenvoudigde representatie van het fysiologische luik van fysieke belasting, waarbij gezocht wordt naar een gepast evenwicht tussen energieverbruik en daaropvolgende energieopname, of naar analogie met een auto is de hoeveelheid benzine (interne belasting) sterk afhankelijk van de gereden afstand (externe belasting). In het biomechanische luik zorgen diezelfde

spiercontracties voor hoogfrequente impact met de omgeving, en die zorgt voor interne schade van de musculoskeletale structuren. Het herstel van die schade vereist ook tijd, en brengt ook mogelijks supercompensatie met zich mee. Naar analogie met een auto zou men in dit geval de schade aan de schokdempers (interne belasting) kunnen inschatten door het profiel van de weg te bekijken (externe belasting).

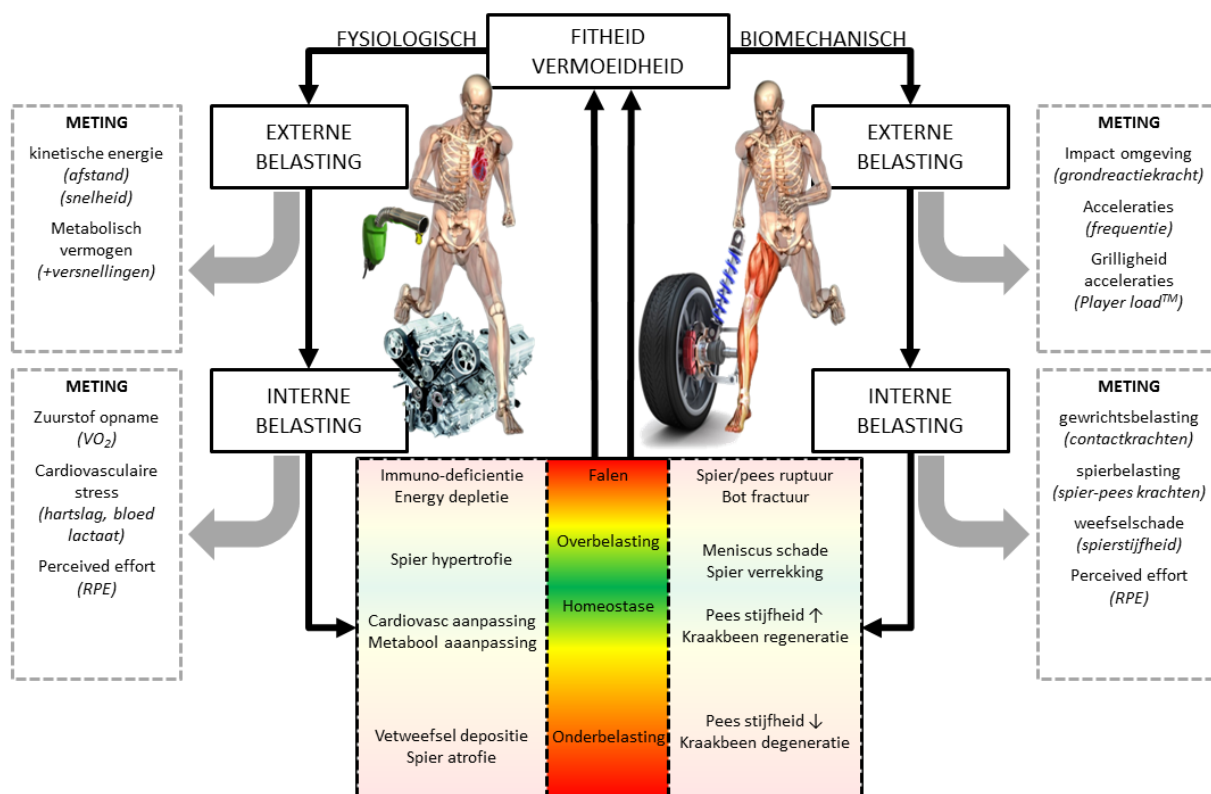
Hoewel de aanpassings- en herstelmechanismen van fysiologische en biomechanische belasting sterk aan elkaar gekoppeld zijn, en op cellulair niveau dikwijls zelfs dezelfde mechanismen zijn, kan het toch nuttig zijn die twee van elkaar los te koppelen. Daarom werd recent een framework voorgesteld waarin het onderscheid gemaakt wordt enerzijds tussen het fysiologische en biomechanische luik, en anderzijds tussen metingen van de beweging van het lichaam (externe belasting) en metingen van de stress op interne structuren (interne belasting) (1).

Framework deel 1: het meten van externe belasting

De schematische voorstelling van fysiologische en biomechanische belasting komt opnieuw terug in Figuur 2, waarbij we eerst stil staan bij het bovenste deel van de figuur, de externe fysieke belasting. Gebaseerd op het feit dat de arbeid die geleverd wordt om het lichaam te verplaatsen sterk overeenkomt met de metabole energie die verbruikt wordt, is het mogelijk om die metabole energie in te schatten aan de hand van de hoeveelheid verplaatsing van het lichaam, met name de kinetische energie. Deze is in se afhankelijk van de snelheid, en bijgevolg de afgelegde weg (9,10), maar gezien er bij teamsporten veel veranderingen in snelheid zijn zouden versnellingen ook in rekening moeten gebracht worden (11). In theorie moeten de hoogteveranderingen van het lichaam ook in rekening

gehouden worden, met name de potentiële energie, maar aangezien voor teamsporten het speelterrein doorgaans vlak is en het gros van de bewegingen in horizontale lijn verlopen wordt dit doorgaans niet meegenomen. In hoeverre dit voor een sport zoals basketbal een onderschatting van energie is, is momenteel nog niet onderzocht. Samengevat kan je dus stellen dat metingen van externe fysieke belasting vanuit fysiologisch standpunt gerelateerd zijn aan snelheid, en in beperkte mate de versnellingen van het lichaam, en die kunnen gerealiseerd worden door geautomatiseerde videoanalyse of GPS.

Wat betreft het biomechanische luik is de schade die toegebracht is aan het musculoskeletaal systeem gerelateerd aan de externe fysieke belasting in de vorm van impact met de omgeving. In de meeste sporten gaat het daarbij over de hoogfrequente impacten van voet-grond interactie tijdens lopen. Bij sommige sporten is er ook een groot aantal impacten met tegenspelers, zoals in rugby, en daar is het dus ook nuttig die spelerinteracties in kaart te brengen om de correcte externe fysieke belasting te berekenen. Het meten van impacten kan eventueel gedaan worden met behulp van video analyse, maar de meest gebruikte methode is het analyseren van accelerometer data (12–16). Deze accelerometers worden vaak in een GPS unit ingebouwd, die in een nauw aansluitend schouderharnas gedragen wordt. Belangrijk om te weten is dat het schouderharnas goed strak moet aansluiten op het lichaam zodat de accelerometers optimaal de acceleraties van de romp registreren (17). Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of men de accelerometers ook elders kan plaatsen, bijvoorbeeld in beschermende elementen zoals scheenbeschermers, of zelfs in de zool van de schoen.



Figuur 3: Totaal overzicht van het framework inclusief metingen die gerelateerd kunnen worden aan de beide vormen van interne en externe fysieke belasting.

Framework deel 2: het meten van interne belasting

Om er voor te zorgen dat onze spieren voldoende sterk en langdurig kunnen contraheren tijdens sportbeoefening moet er in eerste instantie voldoende toevoer van koolhydraten, vetten en proteïnes zijn, alsook van zuurstof in het geval van aerobe verbrandingsprocessen. Voor teamsporten zoals voetbal, basketbal of handbal betekent dit dat volgens het fysiologische luik de interne belasting vooral de cardiorespiratoire systemen omvat, en daarom is het meten van de hartslag of gerelateerde variabelen zoals TRIMP (staat voor training impulse) erg relevant voor trainers en coaches (12–14).

De interne belasting volgens het biomechanische luik is minder goed gekend, hoogstwaarschijnlijk omdat hiervoor weinig of zelfs geen veldmetingen beschikbaar zijn. Het meten van de belasting van de spieren, pezen, botten of zelfs kraakbeen of ligamenten tijdens inspanning is tot op heden zelfs in

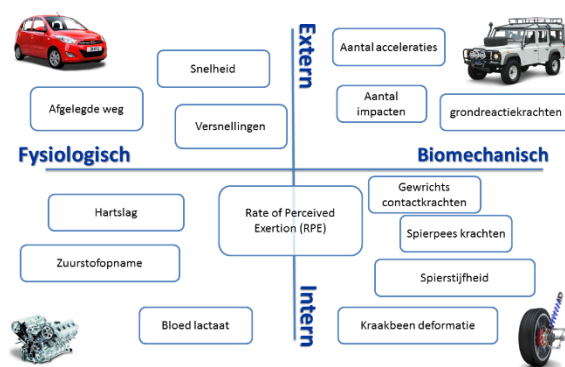
een labo een huzarenstukje. Het onderzoek naar de relatie tussen de extern gemeten biomechanische belasting en de interne belasting op onze musculoskeletale structuren staat daarom nog niet ver. Hier is het wachten op technologische of methodologische vooruitgangen om eerst en vooral directe metingen te kunnen uitvoeren in een labo, en later hopelijk ook metingen uit te voeren op het sportterrein. Recent onderzoek heeft echter uitgewezen dat het meten van interne belasting eventueel indirect kan, met behulp van de zogenaamde Rate of Perceived Exertion (RPE) (15). Meteen na het beoefenen van de sport wordt hierbij aan de atleet gevraagd hoe zwaar hij de oefening vond op een schaal van 1 tot 10. Dit getal wordt dan vermenigvuldigd met het aantal minuten van de sessie (sRPE) (15). Deze variabele blijkt niet alleen goed gerelateerd te zijn aan de fysiologische interne belasting (15), het is uiteraard ook een bijzonder

laagtechnologische meting en dus erg populair voor dagdagelijks gebruik (12,16,17). Daarenboven kan men bij de bevraging differentiëren tussen de gepercipieerde belasting van ‘het buiten adem zijn’ en van ‘de spieren’ (18). Deze differentiatie leunt sterk aan bij het onderscheid tussen fysiologische en biomechanische belasting. Het is dus mogelijk dat de hoogtechnologische oplossingen die momenteel in razendsnel tempo ontwikkeld worden voorlopig nog een goed alternatief kennen met het eenvoudig bevragen van de atleten. Trouwens, wie gelooft er niet in dat spreken met de atleten de beste bron van informatie is?

Framework deel 3: Het streven naar positieve aanpassingen

Na het stellen van de vraag “Wat doen we om fysieke belasting te kunnen meten en opvolgen?” is het belangrijk om toch even stil te staan bij de vraag “Waarom doen we dat?”. Uiteindelijk is het namelijk de bedoeling om positieve aanpassingen te kunnen waarmaken, waarbij de klemtoon prioritair ligt op lichamelijke aanpassingen die een verbetering van de sportprestatie met zich meebrengen, en daarenboven liefst ook beschermend zijn tegen ziekte of het oplopen van blessures. Om het eenvoudig te stellen: er moet voldoende belasting zijn om fitheid positief te kunnen beïnvloeden, maar ook niet te veel want dat zou voor opgestapelde vermoeidheid kunnen zorgen die het risico op ziekte of overbelasting vergroot. Vanuit een fysiologisch standpunt zijn deze principes, zoals voorheen aangehaald, gestoeld op het juist periodiseren van belasting om centrale aanpassingen te krijgen aan hart, longen en het neurale systeem, en om perifere aanpassingen te krijgen aan bloedvaten, spiervezels, en metabole energie- en zuurstofvoorzieningsprocessen. Heel wat van die principes zijn reeds uitvoerig bestudeerd (19–21) en hebben

hun weg reeds gevonden naar de meeste handboeken en cursussen voor trainers en coaches, maar vanuit een biomechanisch standpunt zijn deze principes nog weinig bestudeerd. De biomechanische interne belasting van spierweefsel zorgt voor aanpassingen van de vezellengte, pennatiehoek¹ en spierbuikdikte. Aanpassingen van andere weefsels worden momenteel nog onderzocht. Zo wordt er gesteld dat hoge impactkrachten zorgen voor aanpassingen van het kraakbeenweefsel door vergroting van celvolume (22), verbetering van de syntheseprocessen (23,24) en grotere stijfheid (25). Ook peesweefsel kent aanpassingen van hun modulus en dikte bij repetitieve belasting (26,27). Deze kennis is momenteel nog moeilijk te vertalen naar principes die bruikbaar zijn voor de praktijk, of naar veldmetingen.



Figuur 4. Schematisch overzicht hoe een aantal metingen gekoppeld kunnen worden aan fysiologische of biomechanische belasting en aan externe of interne belasting.

Belangrijk om te onthouden is dat het meten van biomechanische externe belasting als doel moet hebben om dit soort interne aanpassingen waar te maken. Het feit dat deze aanpassingen moeilijk te observeren zijn betekent niet dat ze minder belangrijk zijn om rekening mee te houden bij het plannen van trainingen en wedstrijden. Om dit kracht bij te zetten

¹ De hoek tussen de oriëntatie van de spiervezels en de oriëntatie van de spierpees

worden in figuur 4 de verschillende soorten metingen nog eens binnen vier kwadranten opgedeeld gebaseerd op het conceptueel onderscheid tussen externe (bovenaan) en interne (onderaan) belasting, en tussen het fysiologische (links) en biomechanische luik (rechts).

Voorbeelden van het nut om fysiologisch en biomechanisch luik te ontkoppelen

De trainer of coach die dagdagelijks met de spelers te maken heeft stelt zich misschien weinig vragen omtrent het onderscheid tussen fysiologische en biomechanische belasting, want het waarnemen van fitheid en vermoeidheid bij de spelers geeft de beste feedback om trainings- en wedstrijdbelasting al dan niet individueel bij te sturen. Er zijn echter bepaalde situaties waar het nuttig kan zijn om extra aandacht te besteden aan deze dualiteit in belasting. De meest pertinente situatie is waarschijnlijk tijdens de revalidatie van spelers na een musculoskeletale blessure. Tijdens die revalidatie is er doorgaans de wens om zo weinig mogelijk cardiovasculaire fitheid in te boeten maar tegelijkertijd de musculoskeletale belasting slechts gradueel te laten toenemen naarmate het geblesseerde weefsel herstelt. Dit betekent dus dat de kinesitherapeut moet pogen om de fysiologische belasting hoog te houden en de biomechanische belasting volgens progressie te modereren. Dit gebeurt dikwijls door loopactiviteiten met beperkte impacten op het systeem te introduceren, bijvoorbeeld via aqua jogging of het lopen op een anti-zwaartekracht loopband (Figuur 5) (28–30). Er zijn echter ook minder ingrijpende trainingsmodaliteiten die van belang kunnen zijn voor de trainer. Bijvoorbeeld het verkleinen van het speelveld tijdens trainingen, iets wat in de moderne sport veel gebruikt wordt, heeft een verlaging van fysiologische belasting maar verhoging van biomechanische belasting tot gevolg (31,32). Maar ook het trainen op verschillende ondergronden heeft een belang. Een voorbereidende trainingsstage op het strand kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat er een hoge fysiologische belasting is, maar met minder biomechanische belasting door het beperken van

impacten (33). Ook het type ondergrond kan belangrijke verschillen met zich meebrengen. Het spelen van een toernooi op kunstgras kan bijvoorbeeld veel verschillen met het trainen op natuurlijk gras, iets wat in de voorbije wereldbeker vrouwenvoetbal in Canada (2015) uitvoerig besproken werd, daarbij frequent refererend naar de verhoogde impacten en mogelijks verhoogd risico voor blessures hierdoor. Terwijl wetenschappelijk onderzoek hieromtrent nog volop aan de gang is (34), is het als trainer of coach vooral belangrijk om deze zaken niet uit het oog te verliezen en waar mogelijk indachtig te blijven bij het plannen en periodiseren.



Figuur 5: Met een anti-zwaartekrachtloopband kan hoge fysiologische belasting gecombineerd worden met lage biomechanische belasting, bijvoorbeeld tijdens de revalidatie na een musculoskeletale blessure (Image courtesy of <http://torontophyiotherapy.ca/>)

Algemene conclusie

Als trainer of coach moet je doorgaans kamp kiezen: je bent pro of tegen het regelmatig meten van je spelers om hen op een gepaste manier te kunnen begeleiden. Voor diegenen die in het pro kamp staan is het echter belangrijk om het overzicht te behouden, zowel wat betreft de hoeveelheid van gegevens als wat betreft de betekenis van die gegevens. Het nieuwe 'training load monitoring framework' wat hierboven beschreven werd heeft als doeleind om bij dit laatste een leidraad te zijn. Het biomechanische luik moet qua onderzoek en technologische

ontwikkeling nog een lange weg afleggen vooraleer er wetenschappelijk onderbouwde veldmetingen mogelijk zijn, maar de basisprincipes die in het

framework toegelicht worden kunnen de trainer en coach alvast helpen om enigszins de bomen van het bos te onderscheiden.

Referenties

1. Vanrenterghem J, Nedergaard NJ, Robinson MA, Drust B. Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sport Med.* 2017;(Published ahead of print).
2. Reilly T, Thomas V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud.* 1976;2(2):87–97.
3. Gaudino P, Iaia FM, Strudwick AJ, Hawkins RD, Alberti G, Atkinson G, et al. Factors Influencing Perception of Effort (Session-RPE) During Elite Soccer Training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(7):860–4.
4. Ehrmann FE, Duncan CS, Sindhusake D, Franzsen WN, Greene DA. GPS and Injury Prevention in Professional Soccer. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):360–7.
5. Colby M j., Dawson B, Heasman J, Rogalski B, Gabbett TJ. Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *J Strength Cond Res.* 2014;28(8):2244–52.
6. Boyd LJ, Ball K, Aughey RJ. Quantifying external load in australian football matches and training using accelerometers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(1):44–51.
7. Barrett S, Midgley A, Lovell R. PlayerLoad™: Reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(6):945–52.
8. Bompa TO, Haff GG. *Periodization: Theory and methodology of training.* Human Kinetics Publishers; 2009.
9. de Koning JJ, Bobbert MF, Foster C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *J Sci Med Sport.* 1999;2(3):266–77.
10. Koning JJ De, Foster C, Lampen J, Hettinga F, Bobbert MF, Koning D, et al. Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *J Appl Physiol.* 2005;98:227–33.
11. di Prampero PE. Sprint running: a new energetic approach. *J Exp Biol.* 2005;208(14):2809–16.
12. Borresen J, Lambert MI. The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sport Med.* 2009;39(9):779–95.
13. Cardinale M, Varley MC. Wearable training monitoring technology: applications, challenges and opportunities. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;Published.
14. Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci.* 2005;23(6):583–92.
15. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):1042–7.
16. Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med.* 2016;50:273–80.
17. McLaren SJ, Weston M, Smith A, Cramb R, Portas MD. Variability of physical performance and player match loads in professional rugby union. *J Sci Med Sport.* 2015;19(6):493–7.

18. Weston M, Siegler J, Bahnert A, McBrien J, Lovell R. The application of differential ratings of perceived exertion to Australian Football League matches. *J Sci Med Sport*. 2015;18(6):704–8.
19. Wallace LK, Slattery KM, Coutts AJ. A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(1):11–20.
20. Howatson G, Milak A. Exercise-induced muscle damage following a bout of sport specific repeated sprints. *J strength Cond Res*. 2009;23(8):2419–24.
21. Gamble P. *Strength and conditioning for team sports: sport-specific physical preparation for high performance*. Routledge; 2013.
22. Egli PS, Hunziker EB, Schenk RK. Quantitation of structural features characterizing weight- and less-weight-bearing regions in articular cartilage: A stereological analysis of medical femoral condyles in young adult rabbits. *Anat Rec*. 1988 Nov 1;222(3):217–27.
23. Kiviranta I, Jurvelin J, Tammi M, Säämänen AM, Helminen HJ. Weight bearing controls glycosaminoglycan concentration and articular cartilage thickness in the knee joints of young beagle dogs. *Arthritis Rheum*. 1987;30(7):801–9.
24. Slowman SD, Brandt KD. Composition and glycosaminoglycan metabolism of articular cartilage from habitually loaded and habitually unloaded sites. *Arthritis Rheum*. 1986;29(1):88–94.
25. Swann AC, Seedhom BB. The stiffness of normal articular cartilage and the predominant acting stress levels: implications for the aetiology of osteoarthritis. *Rheumatology*. 1993;32(1):16–25.
26. Kubo K, Yata H, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(3):305–14.
27. Couppe C, Kongsgaard M, Aagaard P, Hansen P, Bojsen-Moller J, Kjær M, et al. Habitual loading results in tendon hypertrophy and increased stiffness of the human patellar tendon. *J Appl Physiol*. 2008;105:805–10.
28. Prins J, Cutner D. Aquatic therapy in the rehabilitation of athletic injuries. *Clin Sports Med*. 1999;18(2):447–61.
29. Hauptenthal A, Ruschel C, Hubert M, De Brito Fontana H, Roesler H. Loading forces in shallow water running at two levels of immersion. *J Rehabil Med*. 2010;42(7):664–9.
30. Raffalt PC, Hovgaard-Hansen L, Jensen BR. Running on a lower-body positive pressure treadmill: VO₂max, respiratory response, and vertical ground reaction force. *Res Q Exerc Sport*. 2013;84(2):213–22.
31. Gaudino P, Alberti G, Iaia FM. Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Hum Mov Sci*. 2014;36:123–33.
32. Hodgson C, Akenhead R, Thomas K. Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Hum Mov Sci*. 2014;33(1):25–32.
33. Gaudino P, Gaudino C, Alberti G, Minetti AE. Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: Hints for soccer training. *J Sci Med Sport*. 2013;16(3):271–5.
34. Rennie DJ, Vanrenterghem J, Littlewood M, Drust B. Can the natural turf pitch be viewed as a risk factor for injury within Association Football? *J Sci Med Sport*. 2015;19(7):1–6.