

# A new approach to running style analysis using a pressure-sensitive insole device: a small step towards injury prevention

Citation for published version (APA):

Mann, R. M. (2015). *A new approach to running style analysis using a pressure-sensitive insole device: a small step towards injury prevention*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20150706rm>

## Document status and date:

Published: 01/01/2015

## DOI:

[10.26481/dis.20150706rm](https://doi.org/10.26481/dis.20150706rm)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

## General rights

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

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

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

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

## Take down policy

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

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

providing details and we will investigate your claim.

# Summary

The popularity of running as a recreational activity has escalated over the last few decades, and with it the number of running-related injuries (RRIs). These injuries are most often of an overuse nature commonly affecting the back and lower limbs. Interest in biomechanical analyses and the relation between biomechanical variables and injury occurrence has grown among researchers. How biomechanics and epidemiology can be combined to better understand RRI risk factors is a new concept and introduced as part of this thesis. Most commonly used biomechanical measurement techniques to date are force platforms and 3D motion analysis systems to measure the kinetics and kinematics, respectively. Ground reaction force, vertical loading rate, rearfoot eversion, pronation and pronation velocity are examples of parameters recorded at the foot which are measured regularly in biomechanics of running research. Pressure measurement devices have also featured in biomechanical studies on running, providing data on the plantar pressure magnitudes and locations. This thesis puts forward a pressure-sensitive insole device, the Runalyser, as a research tool capable of measuring strike index (SI - the point of contact on the foot sole with the ground expressed as a percentage of total sole length) and temporal parameters.

**Chapter 2** explains the methodology used and the analyses performed to validate the Runalyser against gold standards. 3D motion analysis was used to compare the SI to the foot strike angle during running using a rearfoot, midfoot and forefoot strike pattern. We found a strong, linear correlation between SI and foot strike angle. This enabled the classification of footstrike pattern based on the SI, by defining SI at 0° contact angle as a midfoot strike pattern, greater values signifying a forefoot strike and lower values a rearfoot strike. Synchronising the Runalyser data with that of an instrumented treadmill allowed for the comparison of spatiotemporal parameters obtained from both devices. Using Bland-Altman plots, we observed high agreement for contact time, flight time, stride time and duty factor, confirming the validity of the Runalyser when measuring these parameters. Additionally we found a high intra-class correlation for test-retest reliability of the Runalyser output. The Runalyser was therefore deemed a suitable research tool for the ensuing studies on running biomechanics.

As the vertical loading rate had received a lot of recent attention in the scientific literature on potential RRI risk factors, we wanted to determine whether or not the Runalyser could reliably measure this parameter. The study presented in **chapter 3** compared simultaneously recorded Runalyser data with ground reaction force data acquired while subjects ran on an instrumented treadmill. Subjects ran using their habitual running style, a forefoot and a rearfoot strike running style. The vertical loading rate was calculated for the data sets of both measurement devices and a regression analysis demonstrated no particular correlation between these devices. Furthermore, we could not confirm that the Runalyser is capable of detecting the same

changes in vertical loading rate as the instrumented treadmill when different foot strike patterns are used. This is most likely due to the positioning and activation of specific sensors. We concluded that the Runalyser is not a reliable tool to measure vertical loading rate in its current state, and that significant changes to the hardware would be necessary. The hysteresis effect of the foam layering of the insole caused a time lag in the data which most likely led to this large disparity between the two devices. The data acquired using the instrumented treadmill confirmed findings of previous studies that a forefoot strike pattern generates lower vertical loading rates than a rearfoot strike pattern.

Having established the advantages and limitations of the Runalyser compared to more traditional measurement systems, the next aim was to apply the device to research on RRI. We compared SI and spatiotemporal parameters between a group of previously injured runners (n=44) and a control group (n=46), as explained in **chapter 4**. All runners ran at 80, 90, 100, 110 and 120% of their typical running speed on a treadmill. As the Runalyser is capable of continuous measurement, two minutes of data were analysed for each of the five speeds. Coefficient of variation and detrended fluctuation analysis were performed on an average of 161 strides for each speed, to measure the stride variability and inter-stride correlative patterns of all variables, respectively. Detrended fluctuation analysis calculates a value known as  $\alpha$ , which provides an indication of how correlated or how random the stride variables are within a time series. For SI, contact time, flight time, stride time, duty factor, stride length and stride frequency, no significant differences between groups were found. This was also the case for the stride variability of all parameters. The  $\alpha$  of SI showed that runners without previous injury displayed a more random strike pattern. The  $\alpha$  of all other parameters was not significantly different between groups. We also observed changes of the above-mentioned parameters as running speed changed. SI, contact time, stride time and duty factor decreased with increasing running speed, whereas flight time, stride length and stride frequency increased. Variability decreased for SI, contact time, stride time and duty factor, while contact time, stride time, duty factor, stride length and stride frequency became more random as running speed increased. This study revealed that SI is reduced with increasing running speed and strike pattern is more random among previously uninjured runners.

Having tested the effect of running speed and previous injury on running style parameters, we proceeded to use the Runalyser to test the effect of other conditions on these parameters. **Chapter 5** describes a study with the aim of determining the effect of shoe type and fatigue due to prolonged running on these parameters. Running in conventional shoes was compared to running in minimalistic shoes in 26 subjects before and after a prolonged running bout on a treadmill. Again, variability and correlative patterns were calculated and also compared between conditions. We

concluded that in this population of recreational runners, under the specific test conditions of this experiment, no shoe effect or fatigue effect was present. Although a trend in more correlation between strides was observed for the conventional running shoe, a larger sample size and natural running environment are suggested to identify more distinct findings.

The final study presented in **chapter 6** of this PhD thesis primarily addressed the epidemiological aspect of the project by asking the primary question: can parallel use of different running shoes decrease RRI risk? This large-scale prospective cohort study followed 264 recreational runners for 22 weeks, gathering data on all their training performed, injuries sustained and running shoes used. A third of the cohort sustained a RRI, and an adjusted Cox regression analysis showed that using more than one pair of running shoes in parallel was protective against sustaining an injury. Previous injury was found to be a risk factor, whereas increased mean session distance and increased weekly volume of other sports were associated with lower injury risk. A tool such as the Runalyser could aid in monitoring these risk factors.

**Chapter 7** addresses the main findings of this thesis which relate to variation in load distribution and how this could potentially limit the risk of sustaining an overuse injury during running. As we saw in chapter 4, more random strike patterns may be protective of running injuries. Regularly rotating out running shoes and regular participation in other sporting activities could also reduce the risk of injury. These are mechanisms allowing for a regular variation in forces applied to specific structures of the lower limbs, dissipating the accumulated forces, thereby possibly reducing overload of specific structures. This thesis has put forward novel tools and analysis techniques to further our understanding of biomechanical risk factors of running injuries. We suggest the integration of such a tool as the Runalyser and analysis techniques such as detrended fluctuation analysis into large-scale prospective follow-up studies and randomised controlled trials, so as to begin to identify causal relationships with injury.

# Samenvatting

De populariteit van hardlopen als een recreatieve bezigheid is de laatste decennia enorm gegroeid, en daarmee ook het aantal hardloopgerelateerde blessures (RRI's). Deze blessures komen voort uit overbelasting en betreffen meestal de rug en de onderste ledematen. Er is een toenemende interesse in biomechanische analyses en het verband tussen biomechanische variabelen en het ontstaan van blessures. De combinatie van biomechanica en epidemiologie om de RRI-risicofactoren beter te begrijpen, is relatief nieuw en wordt in dit proefschrift beschreven. De meest gangbare biomechanische meetinstrumenten tot op heden zijn krachtplatformen en 3D-bewegingsanalysesystemen om respectievelijk kracht en lichaamsbeweging te meten. Grondreactiekracht, *vertical loading rate* (snelheidsopbouw van verticale grondreactiekracht), hielstand bij landing en (snelheid van) pronatie tijdens de standfase zijn voorbeelden van aan de voet geregistreerde biomechanische parameters die relevant zijn voor de analyse van de belasting, en regelmatig in het biomechanische hardloonderzoek bestudeerd worden. In biomechanisch onderzoek naar hardlopen worden tevens drukmeetinstrumenten gebruikt, die gegevens verschaffen over de omvang en locatie van de druk op de voetzool. In dit proefschrift wordt een drukgevoelige binnenzool, de zogenaamde 'Runalyser' geïntroduceerd, waarmee de strike index (SI – het eerste contactpunt op de voetzool met de ondergrond uitgedrukt als een percentage van de totale zoollengte) en tijd-specifieke parameters gemeten kunnen worden.

In **hoofdstuk 2** worden de gebruikte methodologie uiteengezet en de uitgevoerde analyses om de Runalyser te valideren ten opzichten van de gouden standaard. Zodoende hebben wij 3D-bewegingsanalyse gebruikt om de SI te vergelijken met de helling van de voethoek ten opzichte van de grond (de zogenaamde voet-inclinatione hoek) op het moment van landing tijdens het hardlopen met gebruikmaking van hak-, midvoet en voorvoetlandingspatronen. Het resultaat was een sterke, lineaire correlatie tussen SI en voet-inclinatione hoek. Dit maakte een classificatie van landingspatronen gebaseerd op de SI mogelijk, door de SI van 0 graden als midvoetlanding te beschouwen, waarbij hogere waarden een voorvoetlanding en lagere waarden een haklanding aanduiden. Door synchronisatie van de gegevens van de Runalyser met die van een loopband uitgerust met krachtplatformen kunnen de specifieke spatio-temporele parameters van beide apparaten met elkaar vergeleken worden. Er werd een grote mate van overeenstemming gevonden in contacttijd, zweeftijd en schredetijd, waaruit geconcludeerd werd dat de Runalyser een valide instrument is voor het registreren van deze parameters. Eveneens werd een hoge intra-class correlatie aangaande de test- en her-testbetrouwbaarheid van de Runalyser output vastgesteld. Zodoende veronderstelden we dat de Runalyser een geschikt onderzoeksinstrument is bij onze vervolgstudies aangaande biomechanicaonderzoek bij hardlopen.

Recentelijk heeft de wetenschappelijke literatuur de *vertical loading rate* veelvuldig aangewezen als een potentiële RRI-risicofactor. Zodoende wilden wij vaststellen of de Runalyser deze parameter ook op betrouwbare wijze kon meten. In het onderzoek dat in **hoofdstuk 3** wordt beschreven, worden tegelijkertijd geregistreerde Runalysergegevens vergeleken met grondreactiekrachtdata verkregen tijdens het lopen op een loopband uitgerust met krachtplatformen. De proefpersonen werd gevraagd om op het voor hen normale looppatroon te gaan hardlopen, dus met de voor hen gebruikelijke loopstijl, en eveneens met hak- of voorvoetlanding. De *vertical loading rate* werd berekend middels beide meetinstrumenten. Een regressieanalyse rapporteerde geen significante correlatie tussen beide instrumenten. Bovendien konden wij niet bevestigen dat de Runalyser in staat is dezelfde veranderingen in *vertical loading rate* te registreren als de geïnstrumenteerde loopband, in het geval van verschillende landingspatronen. Dit is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de plaatsing en het activeren van specifieke sensoren in de Runalyser. Onze conclusie was dat de Runalyser geen betrouwbaar instrument is om *vertical loading rate* in zijn huidige toestand te meten, en dat belangrijke aanpassingen aan de hardware noodzakelijk zullen zijn om te zorgen dat de validiteit van de Runalyser zal toenemen. De demping van de binnenzool zoals gebruikt in de Runalyser, veroorzaakte een tijdsvertraging in de gegevens die hoogstwaarschijnlijk het gebrek aan correlatie tussen de twee instrumenten veroorzaakte. Via gegevens verkregen bij het gebruik van de geïnstrumenteerde loopband werden de bevindingen van voorgaande onderzoeken bevestigd dat een voorvoetlanding een lagere *vertical loading rate* vertoont dan een haklanding.

Na de voordelen en beperkingen vastgesteld te hebben van de Runalyser in vergelijking met de meer traditionele meetsystemen, was het volgende doel om het apparaat op onderzoek naar RRI toe te passen. Wij vergeleken SI en spatio-temporele parameters tussen een groep hardlopers met een blessuregeschiedenis (n=44) en een controlegroep zonder blessuregeschiedenis (n=46), zoals uiteengezet in **hoofdstuk 4**. Alle hardlopers liepen op 80, 90, 100, 110 en 120% van hun typische loopsnelheid op een loopband. Aangezien de Runalyser continu kan meten, werden twee minuten aan gegevens geanalyseerd voor ieder van de vijf snelheden. Teneinde de variabiliteit van schreden en de correlatiepatronen binnen de schrede van alle variabelen te kunnen bepalen hebben we de variabiliteitscoëfficiënt berekend en *detrended fluctuation analysis* uitgevoerd over een gemiddelde van 161 passen voor iedere snelheid. Deze analyse resulteert in een gegeven waarde  $\alpha$ , die aangeeft hoe gecorreleerd of hoe willekeurig de schrede variabelen zijn binnen een tijdserie. Voor de variabelen SI, contacttijd, zweeftijd, schredetijd, schredelengte en schrededefrequentie werden geen significante verschillen tussen de groepen vastgesteld. Dit was ook het geval voor de schredevariabiliteit van alle parameters. Op basis van de *detrended fluctuation analysis*



data voor de SI kon worden vastgesteld dat hardlopers zonder blessuregeschiedenis een meer willekeurig looppatroon vertonen. De  $\alpha$  van alle andere parameters was niet significant verschillend tussen de groepen. Er was ook een significant effect van loopsnelheid op de gemeten parameters. SI, contacttijd en schredetijd namen af met een toenemende loopsnelheid, terwijl zweeftijd, schredelengte en schredefrequentie toenamen. De variabiliteit verminderde voor SI, contacttijd en schredetijd, terwijl contacttijd, schredetijd, schredelengte en schredefrequentie meer willekeurig werden bij een toenemende loopsnelheid. Deze studie toont aan dat de SI afneemt (dat het contactpunt in de richting van de hiel verplaatst) naarmate de loopsnelheid toeneemt en dat het looppatroon meer variabiliteit vertoont bij hardlopers zonder blessuregeschiedenis.

Na het effect van loopsnelheid en eerdere blessures getoetst te hebben op loopstijlparameters, werd de Runalyser gebruikt om het effect van andere omstandigheden op deze parameters te testen. **Hoofdstuk 5** beschrijft een onderzoek dat tot doel heeft het effect van schoentype en vermoeidheid te bepalen op loopstijlparameters tijdens duurlopen. Er werd een vergelijk gemaakt tussen hardlopen op conventionele schoenen en hardlopen op minimalistische schoenen bij 26 personen vóór en na een lange hardloopsessie op de loopband. Wederom werden de variabiliteit en correlatie berekend en vergeleken tussen de genoemde omstandigheden. De conclusie was dat bij deze specifieke groep recreatieve hardlopers, en tijdens de specifieke testomstandigheden van dit experiment, schoentype noch vermoeidheid tijdens de duurloop enig effect leek te hebben. Er werd een tendens waargenomen naar een grotere correlatie tussen de schreden bij de conventionele hardloopschoen. Het lijkt derhalve zinvol om het experiment te herhalen met een grotere doelgroep en in een meer natuurlijke loopomgeving.

Het onderzoek dat gepresenteerd wordt in **hoofdstuk 6** van dit proefschrift richt zich voornamelijk op het epidemiologische aspect van het project door het stellen van de primaire vraag: kan een parallel gebruik van verschillende hardloopschoenen het RRI-risico verminderen? Bij dit omvangrijke prospective cohort-onderzoek werden 264 recreatieve hardlopers 22 weken lang gevolgd, waarbij gegevens werden vergaard met betrekking tot al hun trainingstijd en vorm, alle opgelopen blessures en de gebruikte hardloopschoenen. Een derde van het cohort liep een RRI op. Een aangepaste Cox regressieanalyse toonde aan dat het gebruik van meer dan één paar hardloopschoenen bescherming bood tegen het oplopen van een blessure. Een eerder opgelopen blessure bleek een risicofactor, terwijl een toegenomen gemiddelde afstand per trainingssessie en een toegenomen omvang (weekvolume) van het beoefenen van andere sporten dan hardlopen correleren met een lager blessurerisico. Een meetsysteem zoals de Runalyser kan helpen bij het monitoren van deze risicofactoren.

**Hoofdstuk 7** richt zich op de hoofdbevindingen van dit proefschrift, die betrekking hebben op variatie in gewichtsverdeling en in hoeverre dit mogelijkwijze het risico van het oplopen van een door overbelasting ontstane blessure bij hardlopen kan verminderen. Zoals uiteengezet in hoofdstuk 4, kunnen meer willekeurige looppatronen het risico op hardloopleblessures verkleinen. Het regelmatig wisselen van hardloopschoenen en het regelmatig beoefenen van andere sportactiviteiten kunnen eveneens het risico van blessures doen afnemen. Op deze wijze kan een regelmatige afwisseling aan krachten ontstaan waardoor de specifieke structuren van de lagere ledematen minder worden belast en het risico op overbelasting kan worden beperkt. In dit proefschrift worden nieuwe instrumenten en analysetechnieken neergelegd om ons begrip van biomechanische risicofactoren bij hardloopleblessures te vergroten. Om de eerste stappen te kunnen zetten naar het identificeren van mogelijke causale relaties tussen looppatronen en blessures stellen we voor om een combinatie van de Runalyser met analysetechnieken zoals *detrended fluctuation analysis* toe te passen in grootschalige randomised control trials.