



Speedmarsen op militaire laarzen: metingen op het walk-to-run transitiepunt

Kan de schokbelasting omlaag?

door majoor-arts E.M. Lever^a, luitenant-kolonel-arts prof. dr. W.O. Zimmermann^b

^a Algemeen militair arts in opleiding, bedrijfsarts in opleiding, Eerstelijns Gezondheidsbedrijf (EGB).

^b Senior sportarts bij de afdeling Trainingsgeneeskunde en Trainingsfysiologie (TGTF) Koninklijke Landmacht, Utrecht, tevens adjunct professor of military and emergency medicine, Uniformed Services University of the Health Sciences, Bethesda, Maryland, USA. Artikel ontvangen september 2021.

Samenvatting

Inleiding

Speedmarsen is de term voor verplaatsen te voet, waarbij militairen afwisselend marsen en hardlopen om een tijdslimiet te halen. De standaardbepakking tijdens speedmarsen is 25 kilogram, dat is inclusief tactisch vest, rugzak en wapen. Bij het opvoeren van de wandelsnelheid zal een persoon bij een bepaalde snelheid overschakelen van wandelen naar hardlopen, dit wordt het walk-to-run transitiepunt genoemd. Het walk-to-run transitiepunt bij marsen is nog niet onderzocht. Marsen en hardlopen zijn de bron van veel overbelastingsblessures, waarbij de accumulatie van schokbelasting een oorzakelijke rol speelt. Om deze reden is onderzoek naar het verlichten van de schokbelasting van militaire taken, waaronder speedmarsen, zeer gewenst.

Onderzoeksvragen

1. Wat is het walk-to-run transitiepunt bij speedmarsen op militaire laarzen, met een standaardbepakking van 25 kilogram en een (oefen)wapen?
2. Hoe groot zijn de verticale grondreactiekrachten (schokbelasting) tijdens marsen en hardlopen op de snelheid van het walk-to-run transitiepunt?

Methode

Een eenmalige serie metingen op een geïstrumenteerde loopband, in een looplaboratorium, bij twaalf gezonde militairen.

Resultaten

Het walk-to-run transitiepunt was gemiddeld 7,4 km/u (standaarddeviatie [SD] 0,5 km/u). Bij 7,4 km/u zijn de maximale verticale grondreactiekrachten op de hak significant minder bij hardlopen dan bij marsen. De krachten op de midvoet en voorvoet zijn vergelijkbaar.

Conclusie

Het walk-to-run transitiepunt bij speedmarsen op laarzen, met 25 kilogram standaardbepakking en een (oefen)wapen, is 7,4 km/u (SD 0,5 km/u). De schokbelasting van speedmarsen op de snelheid van het walk-to-run transitiepunt was in deze studie lager bij hardlopen dan bij marsen.

Aanbeveling

Eerder overschakelen van marsen naar hardlopen op een snelheid onder het walk-to run transitiepunt kan speedmarsen mogelijk orthopedisch minder belastend maken. Nader onderzoek naar het optimale omschakelpunt van marsen naar hardlopen tijdens speedmarsen is gewenst.

Inleiding

Marsen is een taak die onafscheidelijk verbonden is met het militaire beroep. Speedmarsen, soms ook 'snelmarsen' genoemd, is een variant van marsen. Bij een speedmars is het de bedoeling dat een groep militairen zo snel mogelijk lopend een afstand overbrugt, om vervolgens op de plaats van bestemming een (gevechts)actie uit te voeren. Marsen en speedmarsen maken standaard

onderdeel uit van veel militaire opleidingen en trainingen. Speedmarsen wordt gezien als een discipline die geschikt is om de fysieke en mentale weerbaarheid van militairen te trainen. Meestal is de uitvoering van speedmarsen als volgt: afwisselend 2 minuten hardlopen met een snelheid van 8 tot 9 km/u, vervolgens 1 minuut marsen met een snelheid van 6 tot 7 km/u. Er is ook een variant, waarbij 1 minuut marsen en 1 minuut hardlopen worden afgewisseld. Om de groep tijdens de speedmars bijeen te houden, worden mars- en hardloopsnelheden gekozen die de meeste deelnemers kunnen bijhouden. De af te leggen afstand van een speedmars kan variëren van 3 tot 15 kilometer. De standaardbepakking tijdens training is ongeveer 25 kilogram, dat is inclusief wapen en tactisch vest. Tijdens marsen en speedmarsen worden in principe militaire laarzen gedragen.

Speedmarsen kan leiden tot overbelasting van met name de onderste extremiteiten. Het risico op een overbelastingsblessure bij marsen is groter dan bij hardlopen, het relatieve risico per afgelegde afstand (kilometers) is ongeveer 1,8 (95% CI 1,38-2,37)¹. Het blessurerisico van de activiteit speedmarsen, zoals hierboven beschreven, is niet bekend. De meeste overbelastingsblessures in de krijgsmacht ontstaan in de opleidingstijd, bij jonge militairen, en zijn met name aan de knie en het onderbeen gelokaliseerd².

In de militaire gezondheidszorg is veel aandacht voor de preventie en behandeling van de overbelastingsblessures die kunnen ontstaan door hardlopen en marsen. Zo hebben de eerste lijn (de gezondheidscentra op de kazernes), de tweede lijn (het Centraal Militair Hospitaal) en de derde lijn (het Militair Revalidatie Centrum) in de laatste jaren allen activiteiten ondernomen om de behandeling van militairen met onderbeenklachten te optimaliseren³.

De afdeling Trainingsgeneeskunde en Trainingsfysiologie (TGTF) van de Koninklijke Landmacht is een tweedelijns afdeling sportgeneeskunde en tevens een onderzoeksinstituut. Een belangrijke taak van TGTF is het bevorderen van de preventie en de behandeling van overbelastingsblessures van militair personeel. De afgelopen jaren is onder andere onderzoek gedaan naar hardlopen op sportschoenen en op militaire laarzen. Loopscholing, het aanleren van een hardlooptechniek met minder schokbelasting (verticale grondreactiekrachten), is een vast onderdeel van de behandeling van militairen met overbelastingsblessures van de onderste extremiteit geworden (Engels: gait retraining)⁴. Ook is een studie gedaan naar de verticale grondreactiekrachten die optreden bij marsen op laarzen met een snelheid van 5 km/u. Het beperken van de schokbelasting bij marsen op laarzen met deze snelheid bleek slechts beperkt mogelijk⁵.

Speedmarsen is nog geen onderwerp van onderzoek geweest bij TGTF. Tijdens speedmarsen schakelt de militair over van marsen naar hardlopen en omgekeerd. In de literatuur wordt het punt waar een loper omschakelt van marsen naar hardlopen het walk-to-run transitiepunt genoemd. Dit punt ligt meestal tussen de 6,84 en 7,56 km/u (dit komt overeen met 1,9-2,1 m/s)⁶. De pasfrequentie is dan meestal tussen de 134 en 141 passen per minuut⁷. De studies zijn echter gebaseerd op metingen bij civiele sporters op hardloopschoenen. Waarom een loper omschakelt van marsen naar hardlopen is niet precies bekend. Vermoedelijk speelt het gevoel van spierinspanning bij een bepaalde pasfrequentie een rol, bij hardlopen maken de benen minder grote bewegingsuitslagen dan bij marsen op hoge snelheid⁶.

Over het marsen met bepakking en met een wapen (een geweer) is al wel het volgende bekend: door het dragen van het wapen met twee handen zijn de armen beperkt in beweging, waardoor een natuurlijke armzwaai niet meer mogelijk is. De schokbelasting (Engels: impact peak), neemt door de beperking van de armen en door het gewicht van het wapen toe⁸.

Uit recent onderzoek komt duidelijk naar voren dat de accumulatie van schokbelasting een rol speelt bij het ontstaan van overbelastingsblessures van de onderste extremiteit⁹. Kennis van de schokbelasting bij speedmarsen, met name het optimale moment van omschakelen van marsen

naar hardlopen, kan leiden tot adviezen om (over)belasting te voorkomen. Wellicht is het op termijn mogelijk om op basis van enkele lichaamseigenschappen, bijv. lichaamslengte of beenlengte, een algemene richtlijn voor de afwisseling van hardlopen en marsen bij de uitvoering van speedmarsen op te stellen. Het walk-to-run transitiepunt voor een militair, op laarzen, met bepakking en een wapen is nog niet bekend. Ook is niet bekend of bij deze snelheid marsen, of juist hardlopen minder schokbelasting oplevert. Daarom zijn voor dit onderzoek de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is het walk-to-run transitiepunt bij speedmarsen op militaire laarzen, met standaardbepakking, operationeel vest en wapen (totaal ongeveer 25 kilogram)?
2. Hoe groot zijn de verticale grondreactiekrachten op laarzen bij marsen en hardlopen op de snelheid van het walk-to-run transitiepunt?

Methode

Het onderzoek betrof een eenmalige serie metingen op een geïnstrumenteerde loopband, in een looplaboratorium, bij 12 gezonde, mannelijke militairen op laarzen, met een standaardbepakking van 25 kilogram, met operationeel vest en (oefen)wapen, zie Afb. 1.



Afb. 1: De loopband, met een proefpersoon.

Let op de bepakking en het (oefen)wapen. Foto: W.O. Zimmermann.

Deelnemers werden op naam, of via bekenden uitgenodigd, bij de eenheden waar de eerste auteur als arts werkzaam is. Inclusiecriteria waren: leeftijd 18-40 jaar oud, lengte 1,75-1,90 meter, mannelijk geslacht, ervaring met speedmarsen. Een exclusie criterium was: een blessure van de onderste extremiteit in de laatste drie maanden. Deelnemers gaven allen toestemming om de meetgegevens anoniem te verwerken in een openbare publicatie. Van elke deelnemer werden de volgende biometrische gegevens verzameld: leeftijd, lichaamslengte, gewicht en lengte van het rechterbeen. Lengte en gewicht zijn bepaald op een gecombineerd meetstation van het merk Kern (Balingen, Duitsland). De Body Mass Index (BMI) is berekend ($BMI = \text{gewicht}/(\text{lengte}^2)$). Beenlengte werd gedefinieerd als de afstand van de spina iliaca anterior superior tot en met de onderpool van de mediale malleolus en is gemeten met een meetlint, met de proefpersoon liggend op de rug op een onderzoekstafel. Vervolgens werd tweemaal een loopbandmeting gedaan:

Loopbandmeting 1: bepaling van het walk-to-run transitiepunt

De deelnemer start op de loopband. In een tijdsbestek van 2 minuten wordt de loopband geleidelijk naar de startsnellheid gebracht. De startsnellheid van het marsen is 6,5 km/u. Elke 30 seconden gaat de snelheid van de loopband met 0,1 km/u omhoog. De instructie aan de deelnemers is steeds hetzelfde: "schakel naar eigen inzicht over van marsen naar hardlopen". Als de omschakeling heeft plaatsgevonden, loopt de deelnemer nog 1 minuut hard, zonder verandering in loopbandsnelheid. Vervolgens wordt de test onderbroken, omdat het gewenste meetpunt, het walk-to-run transitiepunt is bepaald. Daarna krijgen de deelnemers tenminste 5 minuten rust. Van tevoren is ingeschat dat loopbandmeting 1 maximaal 12 minuten zou duren (tot en met snelheid 8,5 km/u).

Loopbandmeting 2: bepaling van de verticale grondreactiekrachten

De deelnemer start op de loopband. In een tijdsbestek van 2 minuten wordt de loopband geleidelijk naar de snelheid van het walk-to-run transitiepunt gebracht, die bij loopbandmeting 1 per individu is bepaald. De deelnemer wandelt 1 minuut op de snelheid van zijn walk-to-run transitiepunt. De laatste 30 seconden van deze minuut worden de verticale grondreactiekrachten gemeten. Vervolgens moet de deelnemer 1 minuut hardlopen op dezelfde snelheid, de laatste 30 seconden van deze minuut worden de verticale grondreactiekrachten gemeten. Loopbandmeting 2 duurt maximaal 4 minuten.

De geïnstrumenteerde loopband is van het merk H/P/Cosmos (Nussdorf, Duitsland), de software voor de aansturing van de loopband en de presentatie van de meetwaarden is van Zebris (Isny am Allgau, Duitsland). De volgende biomechanische parameters werden overgenomen van de metingen van de loopband om marsen en hardlopen te beschrijven:

1. Staplengte (centimeters);
2. Stapfrequentie (stappen per minuut);
3. Verticale krachten onder de voorvoet (Newton);
4. Verticale krachten onder de midvoet (Newton);
5. Verticale krachten onder de hak (Newton).

De ruwe dataverzameling is gedaan met behulp van onderzoeksformulieren, op papier. Vervolgens werden de gegevens ingevoerd in een zelfgemaakte database in Excel. De database is geanonimiseerd en zal conform de aanwijzingen in huidige wetgeving (AVG, WMO, WGBO) na een jaar worden gewist.

De verzamelde gegevens werden geanalyseerd met beschrijvende statistiek, aantal, gemiddelde, laagste waarde (minimum), hoogste waarde (maximum), standaarddeviatie. Vervolgens is getoetst of de verticale grondreactiekrachten bij het walk-to-run transitiepunt bij marsen en hardlopen significant verschillen en hoe sterk de correlatie is tussen de biometrische gegevens en het walk-to-run transitiepunt. Significantie werd gezet op 0,05; correlatie werd als volgt gedefinieerd:

0,1 = zwak, 0,3 = medium;
0,5 = sterk. De verzamelde gegevens worden getoond met overzichtstabellen.

Deelnemers (n=12)	Gem	Min-max	SD
Leeftijd (jaren)	32,9	26-39	5,0
Lichaamslengte (cm)	180,9	177-187	3,4
Gewicht (kg)	83,3	74-92	5,7
Body Mass Index	25,5	21,4-28,4	1,9
Beenlengte rechts (cm)	93,9	84-101	5,3

Gem = gemiddelde; SD = standaarddeviatie; cm = centimeter; kg = kilogram

Tabel 1: Biometrie van de deelnemers, allen mannelijk.

Deelnemers (n=12)	Gem	Min-max	SD
Walk-to-run transitiepunt (km/u)	7,4	6,9-8,4	0,5
Staplengte bij marsen (cm)	90,3	81-103	5,7
Staplengte bij hardlopen (cm)	76,6	70-87	5,4
Stapfrequentie bij marsen (stap/min)	136,7	131,1-147,4	4,2
Stapfrequentie bij hardlopen (stap/min)	161,4	151,3-194,4	7,4

Gem = gemiddelde; SD = standaarddeviatie; km/u = kilometer per uur; cm = centimeter;
stap/min = stappen per minuut

Tabel 2: Meetwaarden op het walk-to-run transitiepunt.

Resultaten

Tabel 1 toont de biometrie van de 12 mannelijke deelnemers in het onderzoek. Tabel 2 toont de meetwaarden op het walk-to-run transitiepunt. Het walk-to-run transitiepunt was gemiddeld 7,4 km/u (SD 0,5). Op deze snelheid werd het marsen gekenmerkt door grotere staplengte en lagere stapfrequentie. De correlatie tussen beenlengte en het walk-to-run transitiepunt is sterk ($r=0,56$), de correlatie tussen lichaamslengte en het walk-to-run transitiepunt is sterker ($r=0,82$).

Deelnemers (n=12)	Gem	Min-max	SD
vGRK op de voorvoet bij marsen (N)	978,2	840-1099	85,9
vGRK op de voorvoet bij hardlopen (N)	1005,4	665-1144	176,2
vGRK op de midvoet bij marsen (N)	427,9	349-591	101,3
vGRK op de midvoet bij hardlopen (N)	507,3	228-841	174,4
vGRK op de hak bij marsen (N)	849,8*	757-1057	98,1
vGRK op de hak bij hardlopen (N)	619,2*	288-768	138,1

*p=0,00; er is een significant verschil tussen de gemarkeerde factoren. Gem = gemiddelde; SD = standaarddeviatie; vGRK = verticale grondreactiekrachten; N = Newton

Tabel 3: Verticale grondreactiekrachten bij het walk-to-run transitiepunt, op drie delen van de voet (drie delen van de zool van de laars).

walk-to-run transitiepunt bij speedmarsen bepaald. Dit is gedaan bij 12 gezonde, mannelijke militairen met ervaring met speedmarsen, en met een standaarduitrusting van 25 kilogram, inclusief een (oefen)wapen en op militaire laarzen. Tevens zijn de verticale grondreactiekrachten gemeten bij marsen en hardlopen op de snelheid van het walk-to-run transitiepunt. De belangrijkste bevindingen van het onderzoek zijn dat het walk-to-run transitiepunt op een loopband op 7,4 km/u lag en dat bij deze snelheid de verticale grondreactiekrachten op de hak bij hardlopen kleiner zijn dan bij marsen.

Als de bevindingen worden vergeleken met eerdere resultaten in de literatuur, dan is het gemeten walk-to-run transitiepunt hoger dan verwacht. Immers, het walk-to-run transitiepunt bij hardlopers, op sportschoenen en zonder bepakking ligt tussen de 6,84 en 7,56 km/u (1,9-2,1 m/s)⁶. Bij het verzwaren van de taak met laarzen, bepakking en een (oefen)wapen, ligt het in de verwachting dat het walk-to-run transitiepunt bij een lagere snelheid zal liggen, net zoals dat gebeurt bij heuvelop wandelen¹⁰. Voor goed getrainde militairen is 7,4 km/u geen extreme marssnelheid. Bij een onderzoek onder zeer fitte Britse militairen naar bloedlactaat bij marsen en hardlopen op laarzen met 20 kilogram bepakking, werden marssnelheden behaald tot 8,4 km/u¹¹. Mogelijk hebben de ervaren militairen zichzelf aangeleerd om het walk-to-run transitiepunt uit te stellen, om later om te schakelen, onder het motto: “met grote stappen ben je sneller thuis”. Wel moet vermeld worden dat het maken van grote, geforceerde stappen in verband wordt gebracht met het ontwikkelen van de aandoening chronisch inspanningsgebonden compartimentsyndroom, met name van het voorste onderbeencompartiment¹². Sommige militaire artsen stellen wel: “met grote stappen ben je sneller bij de dokter”.

Dit is niet de eerste studie die marsen en hardlopen op dezelfde snelheid vergelijkt. In een studie met 23 recreatieve sporters, 13 mannen met een gemiddelde leeftijd van 25 jaar en 10 vrouwen met een gemiddelde leeftijd van 28 jaar, werd bij een snelheid van 7,2 km/u gevonden dat de verticale grondreactiekrachten bij hardlopen 49,6% hoger waren dan bij marsen en de proefpersonen zich bij het hardlopen oprichtten en een veerkrachtige en schokkende stijl van hardlopen aannamen¹³. De bevindingen in de huidige studie zijn tegenovergesteld, namelijk de verticale grondreactiekrachten bij een snelheid van 7,4 km/u waren bij hardlopen significant lager dan bij marsen. Blijkbaar hebben deze ervaren militairen een hardlooptechniek op laarzen ontwikkeld waarbij de verticale grondreactiekrachten juist minder zijn dan bij marsen.

Uit het voorgaande volgt dat het voor militairen, bij speedmarsen met bepakking en een wapen, met betrekking tot schokbelasting gunstiger is bij de snelheid van het walk-to-run transitiepunt hard te lopen dan te marsen. Omdat verticale grondreactiekrachten een oorzakelijke rol bij het ontstaan van overbelastingblessures spelen⁹, is het mogelijk gewenst bij speedmarsen al eerder, bij een lagere snelheid, om te schakelen van marsen naar hardlopen. Dit moet in vervolgonderzoek

Tabel 3 toont de verticale grondreactiekrachten bij het walk-to-run transitiepunt, bij marsen en hardlopen, voor drie delen van de voet (drie delen van de zool van de laars): de voorvoet, de midvoet en de hak. De gemiddelde waarde op de hak is significant lager bij hardlopen dan bij marsen.

Discussie

In dit onderzoek is het

worden aangetoond. Idealiter wordt bij elke militair die regelmatig moet speedmarsen individueel bepaald wat het optimale walk-to-run transitiepunt is. Als dat niet haalbaar is wegens tijdsinvestering en kosten, dan kan mogelijk een adviestabel worden gemaakt, met de geadviseerde walk-to-run transitiepunten voor marsen. Uit dit onderzoek volgt dat lichaamslengte waarschijnlijk een belangrijke rol zal spelen bij het advies.

Dit onderzoek kent beperkingen. Het betreft een kleine, specifieke groep deelnemers, namelijk fitte militairen, met ervaring in speedmarsen. De meetwaarden moeten worden gezien als een eerste bevinding, waarbij de statistiek met voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd. Het advies is om bij vervolgonderzoek meer deelnemers te includeren, om de kans op toevalsbevindingen te verkleinen. Het is ook een beperking dat geen vrouwen hebben deelgenomen. Dit gebeurt vaak bij onderzoek bij Defensie, omdat slechts 10% van de werknemers vrouw is. Toch zal ook onderzoek met vrouwelijke militairen moeten plaatsvinden.

Ondanks de genoemde beperkingen is dit onderzoek waardevol. Het geeft inzicht in enkele biomechanische aspecten van speedmarsen en een eerste indruk van de adviezen die bij speedmarsen kunnen worden gegeven om de orthopedische belasting te reduceren.

Conclusie

Het walk-to-run transitiepunt, gemeten bij 12 gezonde, mannelijke militairen bij speedmarsen op laarzen, met 25 kilogram standaardbepakking en een (oefen)wapen, is 7,4 km/u (SD 0,5 km/u). De schokbelasting van speedmarsen op de snelheid van het walk-to-run transitiepunt is lager bij hardlopen dan bij marsen. Eerder overschakelen van marsen naar hardlopen op een snelheid onder het walk-to-run transitiepunt kan speedmarsen mogelijk minder belastend maken. Nader onderzoek naar het optimale omschakelpunt van marsen naar hardlopen tijdens speedmarsen is gewenst.

SUMMARY

SPEED MARCHING IN MILITARY BOOTS: MEASUREMENTS ON THE WALK-TO-RUN TRANSITION SPEED

Introduction

Speed marching is the term for moving on foot, in which service members alternate marching and running to cover a certain distance in limited time. The standard load for speed marches is 25 kilograms, that is with tactical vest, backpack and rifle. When increasing walking speed, a person will switch from walking to running at a certain speed, this is called walk-to-run transition. The walk-to-run transition speed for marching in military boots, with or without a rifle, is unknown. Marching and running are the source of many overuse injuries, the accumulation of impact forces plays a causal role. Research into alleviating the impact forces of military tasks, such as speed marching, is desirable.

Research questions

1. What is the walk-to-run transition speed for marching in military boots, with standard 25 kg load, including a (practice) weapon?
2. What are the vertical ground reaction forces of marching and running at the speed of the walk-to-run transition?

Method

A one-time series of measurements on an instrumented treadmill, in a running laboratory, on twelve healthy soldiers.

Results

The walk-to-run transition speed averaged 7.4 km/h (SD 0.5 km/h). At 7.4 km/h, the maximum vertical ground reaction forces on the heel were less in running than in marching. The forces on the midfoot and forefoot were similar.

Conclusion

The walk-to-run transition speed, measured in 12 healthy and experienced service members during speed marching in boots, with 25 kg standard pack and a (practice) weapon, is 7.4 km/h (SD 0.5 km/h). At the speed of walk-to-run transition, vertical ground reaction forces were lower in running than in marching in this particular population and activity.

Recommendation

Switching from marching to running at a speed below the self-selected walk-to-run transition speed may reduce ground reaction forces when speed marching in boots. Further research into the optimal transition speed from marching to running during marching is warranted.

Literatuur:

1. [Schuh-Renner A.](#), [Grier T.L.](#), [Canham-Chervak M.](#) et al.: Risk factors for injury associated with low, moderate, and high mileage road marching in a U.S. Army infantry brigade. *J Sci Med Sport* 2017;20:S28-S33.
2. [Zimmermann W.O.](#), [Helmhout P.H.](#), [Beutler A.](#): Prevention and treatment of exercise related leg pain in young soldiers; a review of the literature and current practice in the Dutch Armed Forces. *J R Army Med Corps* 2017;163:94-103.
3. [Ligthert E.](#), [Helmhout P.H.](#), [Van Der Wurf P.](#) et al.: Het Onderbeenspreekuur in Het Centraal Militair Hospitaal. *Nederl Mil Geneesk T* 2017;70(4):90-98.
4. [Zimmermann W.O.](#), [Bakker E.W.P.](#): Reducing vertical ground reaction forces: The relative importance of three gait retraining cues, *Clin Biom* 2019;69:16-20.
5. [Zimmermann W.O.](#), [Duijvesteijn N.M.](#): The effects of increasing cadence on vertical ground reaction forces when walking in military boots. *Nederl Mil Geneesk T* 2019;72(3):57-63.
6. [Rotstein A.](#), [Inbar O.](#), [Berginsky T.](#) et al.: Preferred transition speed between walking and running: effects of training status. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(11):1864-1870.
7. [Chase C.J.](#): Cadence as an indicator of the walk-to-run transition. University of Massachusetts Amherst, unpublished master's thesis, 2020.
8. [Birrell S.A.](#), [Haslam R.A.](#): The influence of rifle carriage on the kinetics of human gait. *Ergonomics* 2008;51(6):816-826.
9. [Davis I.S.](#), [Rice H.M.](#), [Wearing S.C.](#): Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries. *J Sport Health Sci* 2017;6:154-161.
10. [Brill J.W.](#), [Kram R.](#): Does the preferred walk-run transition speed on steep inclines minimize energetic cost, heartrate or neither? *J Exp Biol* 2021, Feb. doi: 10.1242/jeb.233056.
11. [Simpson R.J.](#), [Graham S.M.](#), [Connaboy C.](#) et al.: Blood lactate thresholds and walking/running economy are determinants of backpack-running performance in trained soldiers. *Applied Ergon* 2017;58:566-572.
12. [Roberts A.](#), [Roscoe D.](#), [Hulse D.](#) et al.: Biomechanical difference between cases with chronic exertional compartment syndrome and asymptomatic controls during walking and marching gate. *Gait & Posture* 2017;58:66-71.
13. [Keller T.S.](#), [Weisberger A.M.](#), [Ray J.L.](#) et al.: Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging and running. *Clin Biom* 1996;11(5):253-259.