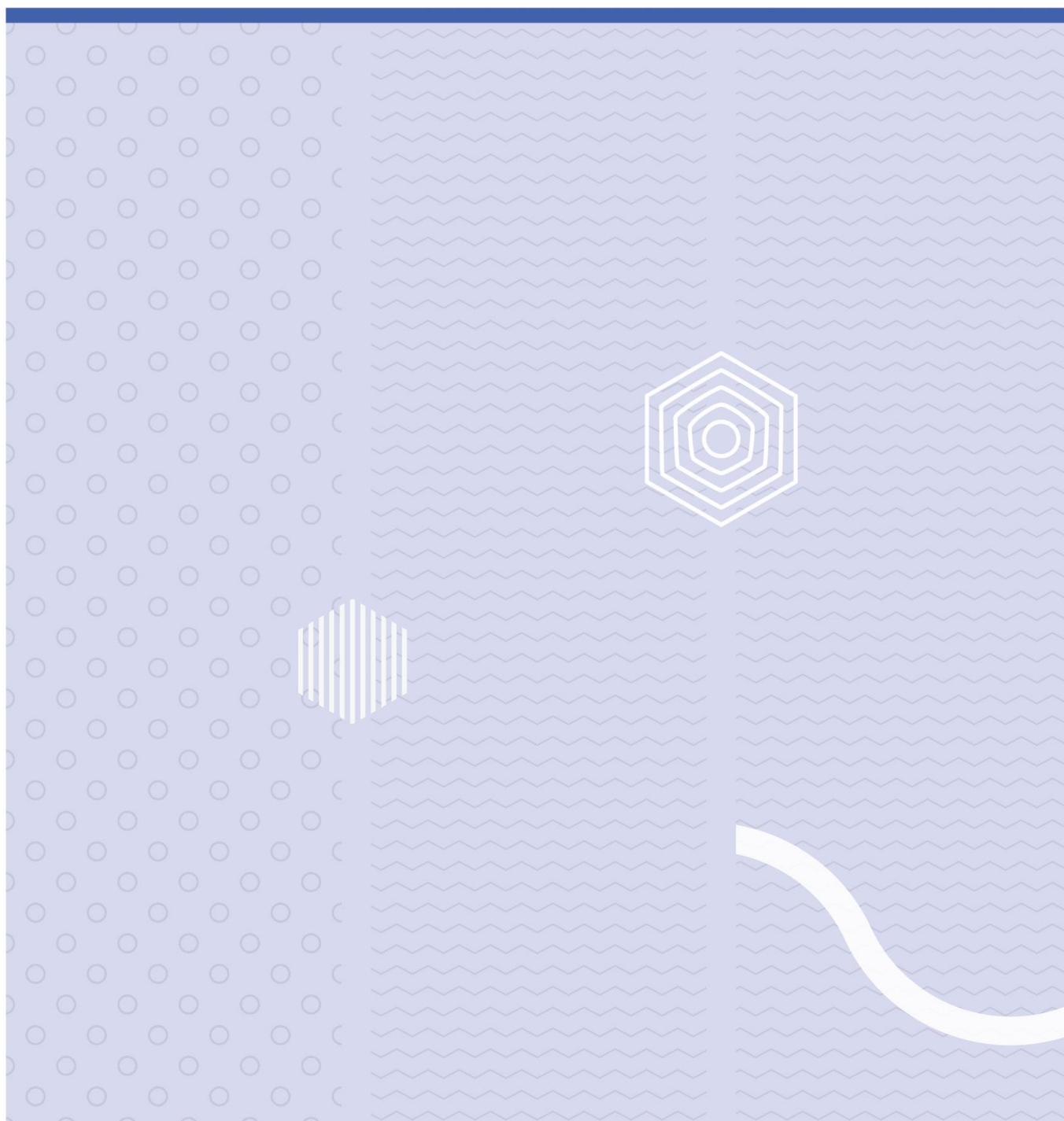


Jørgen Dahl Olsen

Article: MAS and MANS Predicts repeated sprint ability in youth soccer players

Kappe: Hvordan skal fotballspillere trene for å optimalisere de fysiologiske egenskapene i fotball?



MAS and MANS Predicts repeated sprint ability in youth soccer players

Abstract

The study investigated the impact of maximal aerobic speed (MAS) and maximal anaerobic speed (MANS) on repeated sprint ability (RSA) in soccer. **Method:** 17 amateur-to semi-professional soccer players, age 19 ± 4 years, were tested for maximal oxygen uptake (VO_{2max}), oxygen cost of running (C_r), RSA and 40-meter sprint performance. MAS was calculated as $VO_{2max} \cdot C_r^{-1}$, and MANS was calculated as 40-meter sprint velocity. **Results:** There was a strong correlation between MAS and average 20-meter RSA velocity ($r=0.760$; $p<0.01$), and between MAS and performance decrement (PD) ($r=-0.648$; $p<0.01$). The product of $0.5MAS + 0.5MANS$ exhibited the strongest correlation with RSA ($r=0.813$; $p<0.01$). **Conclusion:** The combination of MAS and MANS predicted RSA to a high degree. High-intensity aerobic interval training (HIIT) and maximal strength training (MST) are recommended to improve MAS and MANS, which will lead to better RSA on the soccer field.

Keywords: Repeated sprint ability, soccer, maximal aerobic speed, maximal anaerobic speed.

Introduction

Sprint capacity is one of the most critical physiological attributes in soccer (Di Salvo et al., 2010; Haugen et al., 2014). A male soccer player sprints on average every 60- to 90 seconds during a soccer match, and each sprint lasts approximately 2- to 3 seconds (Haugen et al., 2013). This indicates that the intermediate sprint is shorter than 20-meters (Haugen et al., 2014). The total sprinting distance during a soccer game has been shown to be less in the last 15 minutes of the game compared to the first 15 minutes (Bradley et al., 2009). It is estimated that phosphocreatine (PCr) contributes with 55% of the total energy expenditure in a three second sprint with maximal effort (Spencer et al., 2005). During the same work, the anaerobic glycolysis contributes with approximately 35% of the total energy expenditure, and only 3% of the work completed comes from aerobic energy (Spencer et al., 2005). However, to rebuild PCr, the body needs oxygen (Yoshida et al., 1993). Yoshida et al. (1993) showed that distance runners with high maximal oxygen

uptake (VO_{2max}) had faster rebuild of PCr compared to other male subjects with lower VO_{2max} . Athletes with higher VO_{2max} thus seem to have better prerequisites to repeat explosive movements frequently (Helgerud et al., 2011). Improved VO_{2max} may therefore result in more sprints during a football game, as shown in Helgerud et al. (2001). Athletes with high maximal aerobic speed (MAS), calculated as $VO_{2max} \cdot C_r^{-1}$, have been shown to be able to both maintain a higher aerobic running speed (Støren et al., 2021), and repeat explosive movements more frequently (Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2011). Aerobic capacity has been reported to correlate with repeated sprint ability (RSA) (Haugen et al., 2013). Another important factor for performance in repeated sprints is logically maximal anaerobic speed (MANS) (Buchheit & Mendez-Villanueva, 2014), as MANS sets the upper limit for sprint velocity. This indicates that athletes with high MAS and MANS will have higher average sprint velocity during repeated sprints.

Anaerobic sprint reserve (ASR) can be defined as the difference between MAS and MANS in either absolute or relative terms (Sandford et al., 2021). Athletes with a high ASR have been shown to either have the lowest MAS, or the highest MANS (Støren et al., 2021; Sandford et al., 2021). Therefore, ASR cannot indicate the performance of a soccer player, if not put in context with the actual level of MAS and MANS (Støren et al., 2021; Sandford et al., 2021). Ortiz et al. (2018) and Støren et al. (2021) found a positive correlation between MANS and ASR, and a negative correlation between MAS and ASR.

This cross-sectional study aimed to investigate the importance of MAS and MANS on repeated sprint performance in youth soccer players. A second aim was to assess whether the formula of $0.5MANS + 0.5MAS$ could predict the average sprint speed through a repeated sprint course.

Methods

Participants

22 amateur- to semi-professionals soccer players were recruited for participation, of which 17 completed the study. Characteristics of the participants are presented in table 1. The participants signed a written informed consent form and a self-declaration form for individual health before participation. The study was performed in accordance with the declaration of Helsinki, and approved by the Norwegian Centre for Research Data (ref nr 100648). Inclusion criteria required the players to be 16 to 40 years old and registered in a football club within Norway's football federation (NFF). In addition, the participants had to complete each lap in the 15·20m repeated sprint track within 1 minute 40 seconds. Five participants did not finish the repeated sprint track within the time limit.

The participants were divided into groups to compare sprint velocity between the players with low MAS and players with high MAS. Group 1; MAS <15km·h⁻¹ (LowMAS). Group 2; MAS >15km·h⁻¹ (HighMAS). The participants first (1-5), second (6-10), and third runs (11-15) of the RSA test were compared for sprint velocity (Table 3).

Testing protocol

The physical tests were performed on two different days with 48 to 96 hours in between for complete recovery. Body weight, height, oxygen cost of running (C_r) and VO_{2max} were tested on the first day. RSA and 40-meter sprint were tested on the second day.

The C_r test was performed as part of the warm-up before the VO_{2max} test, and a two-minute break was given between the two tests. C_r and VO_{2max} were performed on a treadmill (Woodway PPS 55, Waukesha, WI, USA), and VO_2 was measured with the ergospirometry test system Jaeger Vyntus CPX (CareFusion, GmbH, Hoechberg, Germany). The C_r test consisted of two submaximal workloads of four minutes each at 0% incline, with a one-minute break between each workload. VO_2 was measured after 3:20, 3:40, and 4:00 minutes. The C_r value was calculated as the average VO_2 measurements divided by the speed and expressed as ml·kg⁻¹·m⁻¹. The velocity during the two periods corresponded to an intensity between 70- to 90% of VO_{2max} on both intervals. The best result of the two intervals was registered as C_r , if within 70- to 90% of VO_{2max} . The latter was controlled after the VO_{2max} test.

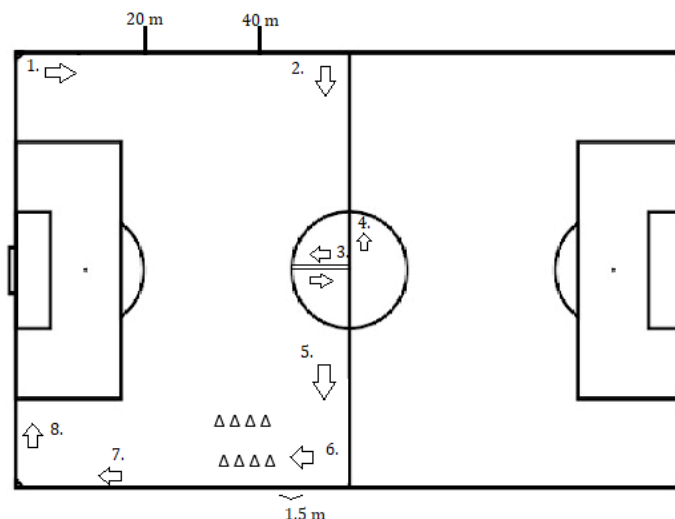
The incline on the treadmill was set to either 2- or 5% throughout the VO_{2max} test. The starting speed and incline were based on the subject's performance on the C_r test. After

every 30 seconds, the speed increased by $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ until voluntary exhaustion. The criteria used to determine if $\text{VO}_{2\text{max}}$ was reached, were; respiratory exchange ratio (RER) above 1.1, peak heart frequency (HF_{peak}) above 95% of expected maximal heart frequency (HF_{max}), and a plateau of the VO_2 curve (Edvartsen et al., 2014).

Maximal anaerobic speed and repeated sprint ability.

A 30-minute progressive warm-up was performed before a 40-meter maximal sprint test, and a three-minute break was given before the RSA test started. MANS was calculated as 40-meter velocity.

A repeated sprint track simulating football-related movements was designed to measure RSA, based on the dribbling track in Hoff et al. (2002). At the start of each lap a maximal 20-meter sprint was performed. The time limit for each lap was 1 minute 40 seconds and the total number of laps were 15.



(Figure 1) 1. 20m maximal effort sprint up the sideline. 2. Jog to the middle circle in the midfield. 3. Sideways run from the midfield to the end of the circle and back. 4. Run backward to the end of the circle. 5. Run forward towards the sideline. 6. Dribble the ball between eight cones with 1.5m space to each other down the sideline. 7. Run with the ball to the deadline and leave the ball there. 8. Run back to start, and if the subject has spare seconds left, a pause before the new lap.

After finishing the RSA test, the subjects got a three-minute break before the last 40-meter maximal sprint.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using the Statistical package for social sciences (SPSS) (Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp) and Microsoft Excel. The material was tested for normal distribution in the variables MAS, MANS and average time in 20-meter sprint, by use of QQ plots and Shapiro-Wilk tests. The data showed normal distributions, the results are therefore presented as mean \pm standard deviation (SD). Pearson's bivariate correlation test was used to determine the correlation between the variables, while the standard error of estimate (SEE) was found by use of linear regressions. To investigate the differences between players with high- or low MAS, independent sample t-test were used. The level of significance was set as $p < 0.05$.

Results

Participant characteristics and various test results are presented in table 1.

Table 1: Participant characteristics and test results (N=17)

Age (yrs)	19 \pm 4	19.1
Height (cm)	174.5 \pm 10.7	6.1
BW (kg)	71.0 \pm 9.4	13.2
VO _{2max} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	53.3 \pm 7.0	13.1
C _r (mL·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)	0.212 \pm 0.017	7.8
MAS (km·t ⁻¹)	15.1 \pm 1.6	10.8
MANS (km·t ⁻¹)	27.9 \pm 1.6	5.7
ASR (km·t ⁻¹)	12.8 \pm 2.2	16.8
Avg. 20m sprint (km·t ⁻¹)	20.0 \pm 0.96	4.8

Values are presented in mean \pm standard deviations and coefficient of variation (%). Yrs: years, cm: centimeters, BW: bodyweight, kg: kilogram, VO_{2max}: maximum oxygen uptake, mL·kg⁻¹·min⁻¹: milliliters per kilo bodyweight per minute, C_r: oxygen cost of running, mL·kg⁻¹·m⁻¹= milliliter per kilo bodyweight per meter, MAS: maximal aerobic speed, km·t⁻¹: kilometer per hour, MANS: maximal anaerobic speed, ASR: Anaerobic sprint reserve, Avg: average, 20m sprint: average sprint speed on the sprint track, m: meter

There were significant correlations between the average 20-meter repeated sprint velocity and MAS. The strongest correlation was found between the average 20-meter repeated sprint and 0.5MAS + 0.5MANS (Table 2).

Table 2: Correlations with average 20-meter sprints

Category	R	R ²	SEE%
MAS	0.760**	0.578	3.2
MANS	0.451	0.203	4.4
0.5MAS+0.5MANS	0.813**	0.661	2.9
ASR	-0.244	0.345	4.8
ASR% of MAS	-0.455	0.210	4.4

MAS: maximal aerobic speed, MANS: maximal anaerobic speed, 0.5MAS + 0.5MANS: 50% maximal aerobic speed+50% maximal anaerobic speed, ASR: Anaerobic sprint reserve, ASR% of MAS, Anaerobic sprint reserve % of maximal aerobic speed, R: correlation, R²: regression, SEE% = Standard estimate of error

* p<0,05

** p<0,01

The results presented in table 3 show that while there was no difference between the players with low- or high MAS during the five first sprints, differences did appear in the later sprints.

Table 3: Repeated sprint ability divided by high or low MAS

	5m			10m			20m		
	S1-5	S6-10	S11-15	S1-5	S6-10	S11-15	S1-5	S6-10	S11-15
All (N=17)	1.24±0.06	1.27±0.07	1.26±0.06	2.07±0.08	2.12±0.09	2.11±0.11	3.54±0.14	3.65±0.19	3.64±0.21
LowMAS (N=8)	1.25±0.06	1.30±0.07	1.29±0.05	2.09±0.08	2.19±0.06	2.20±0.10	3.62±0.13	3.81±0.12	3.81±0.17
HighMAS (N=9)	1.24±0.06	1.25±0.07	1.23±0.05	2.04±0.08	2.06±0.09	2.05±0.08	3.47±0.11	3.52±0.13*	3.50±0.12

Values are presented in seconds as mean ± standard deviations. m: meter, MAS: maximal aerobic speed, S 1-5, the five first runs. S6-10, the next five runs. S11-15, the last five runs. LowMAS, MAS<15 km·t⁻¹. HighMAS, MAS>15 km·t⁻¹

*p<0.05 less speed reduction than LowMAS

Table 4: Correlation between MAS/MANS and ASR.

	R	R ²	SEE%
MAS	-0.676**	0.457	12.8
MANS	0.654**	0.428	13.1

MANS: Maximal anaerobic speed, MAS: Maximal aerobic speed, ASR: Anaerobic sprint reserve, R: Correlation, R²: Regression, SEE%: Standard estimate of error

* p<0,05

** p<0,01

Mean 40m times before and after RST were 5.94±0.28 and 5.99±0.29 respectively. The times were not significantly different.

Discussion

The main finding of the present study was the strong correlation between 0.5MAS + 0.5 MANS, and mean sprint time ($r=0.81$, $SEE=2.9\%$). Also, a strong correlation was found with MAS alone and mean sprint time ($r=0.76$, $SEE=3.6\%$). This indicates a strong impact from MAS on RSA, with an additional contribution from MANS. While MANS sets the upper sprint performance level, MAS seemed to determine the level of speed decrement throughout the repetitions. The present study found a strong negative correlation between MAS and performance decrement (PD) ($r=-0.648$; $p<0.01$). The latter was shown in the present study by the larger performance decrement among the LowMAS group, compared with the HighMAS group (Table 3).

The associations between aerobic capacity and RSA are in accordance with results from previous studies investigating RSA (Meckel et al., 2009; Nikolaidis et al., 2015; Sanders et al., 2017). High aerobic capacity is suggested to improve recovery during repeated sprints partly because athletes with high aerobic capacity may restore PCr faster (Yoshida et al., 1993).

Meckel et al. (2009) have suggested that the contribution of the aerobic system increases with an increasing number of sprint repetitions. This is supported by the findings in the present study. While there was little or no differences between the HighMAS and the LowMAS groups in sprint velocity during the first five repetitions, differences became apparent from repetition six and forward. Contrary, Aziz et al. (2000) found that improving MAS only marginally improved RSA. However, Aziz et al. (2000) only used eight repetitions of sprints. In comparison, the present study consisted of 15 repetitions, with a more active and longer rest period.

Muscle fatigue

The reduced RSA over time in the present study indicates some sort of muscle fatigue. Rampinini et al. (2011) have suggested that muscle fatigue can be both temporary and more sustained. Temporary fatigue occurs in intensive game periods (Mohr et al., 2003). Mohr et al. (2003) reported reduced RSA during the first half of a soccer match, but the players had recovered their performance towards the end of the first half. An intensive game period could reduce the PCr levels, which deteriorates sprint ability (Girard et al., 2011). The PCr concentration in the muscle cell is usually restored after a 2 to 5-minute break (Tomlin & Wenger, 2001). Therefore, a total game break or an easy game period could restore the PCr concentration to normal. A more sustained muscle fatigue occurs towards the end of the game, as there have been reported fewer sprints in the last 15 minutes (Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2016). The finding in the present study that 40m times did not deteriorate after a three-minute break post RST, thus indicate a temporary but not sustained fatigue after the RST. The RSA test only lasted for 25 minutes. The investigation of sustained muscle fatigue could have been tested more accurately through an extended test. Throughout an intensive game it has been reported muscle damage, reduced glucose levels, and accumulation of lactate (Girard et al., 2011). MAS could then have been an even more RSA determining variable towards the end of the game.

ASR

ASR was calculated as the difference between MAS and MANS in absolute terms, and as a percentage of MAS in relative terms in the present study. A positive correlation between MANS and ASR, and a negative correlation between MAS and ASR was found, supporting the results in Støren et al. (2021) among runners and in Ortiz et al. (2018) among soccer players. The present study found no significant correlation between ASR and the average time on 20-meter sprints (Table 2). Sandford et al. (2021) stressed that focusing on only one element of the ASR is not the best for better performance. The athletes should focus on ASR relative to both MAS and MANS to increase their performance.

Limitations and Future Perspectives

We do not know with certainty if the association between MAS and RSA in the present study mostly relates to the sprints, the active breaks or the combination of both.

The 15·20m RSA test had a duration of 25 minutes, and is therefore hard to compare with a 90-minute soccer game. However, a full 90-minute RSA test may increase the risk of injuries and possibly lead to reduced motivation to complete the test. Although 17 players were a sufficient number in order to perform statistical analyses and detect associations, the number is too small for generalizing the results. With only 17 subjects, there is also a possibility for type II statistical errors.

Practical implications

This study underlines that MAS and MANS are important determining factors for RSA, and thus soccer performance. Hopefully, the results of this study can be helpful for coaches and athletes to understand the importance of MAS and MANS. Studies have shown that high-intensity aerobic interval training (HIIT) effectively improves VO_{2max} (Helgerud et al., 2007; Helgerud et al., 2011). Maximal strength training (MST) has been effective in improving both C_r (Støren et al., 2008) and sprint performance (Wisløff et al., 2004; Wisløff et al., 2004; Helgerud et al., 2011; Blagrove et al., 2018). HIIT and MST may help athletes improve MAS and MANS, and can be effectively trained during the season (Dupont et al., 2004; Wisløff et al., 2004; Helgerud et al., 2011; Styles et al., 2016).

Conclusion

RSA was to a large extent explained by $0.5\text{MAS} + 0.5\text{MANS}$, with MAS being the most important variable. We suggest a combination of HIIT and MST in order to improve MAS and MANS for better performance on the soccer field.

Acknowledgments

We wish to thank the participating soccer players for their effort and the University of South-eastern Norway to use the physiological laboratory. We would also like to thank the local soccer club for lending out their soccer field. No external funding was received in this study.

References

1. Aziz A R, Chia M, Teh K C. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(3): 195–200, 2000.
2. Blagrove R C, Howatson G, Hayes P R. Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review. *Sports Med*, 48(5): 1117-1149, 2018.
3. Bradley P S, Archer D T, Hogg B, Schuth G, Bush M, Carling C, Barnes C. Tier-specific evolution of match performance characteristics in the English Premier League: it's getting tougher at the top. *Journal of Sports Sciences*, 34(10): 980–987, 2016.
4. Bradley P S, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krustup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2): 159–168, 2009.
5. Buchheit M, Mendez-Villanueva A. Changes in repeated-sprint performance in relation to change in locomotor profile in highly-trained young soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(13): 1309–1317, 2014.
6. Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3): 584–589, 2004.
7. Edvardsen E, Hem E, Anderssen S A. End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: a cross-sectional study. *PloS one*, 9(1): e85276, 2014.
8. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*, 41(8): 673-694, 2011
9. Haugen T, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 9(3): 432-441, 2014.
10. Haugen T, Tønnessen E, Seiler S. Anaerobic Performance Testing Of Professional Soccer. *International Journal Of Sports Physiology and Performance*, 8(2): 148-156, 2013.
11. Helgerud J, Engen L C, Wisloff U, Hoff. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exercise*. 33(11): 1925-31, 2001.
12. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, Hoff J. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4): 665-671, 2007.

13. Helgerud J, Rodas G, Kemi O J, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *International journal of sports medicine*, 32(9): 677-682, 2011.
14. Hoff J, Wisløff U, Engen L C, Kemi O J, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*, 36: 218-221, 2002.
15. Jones R M, Cook C C, Kilduff L P, Milanović Z, James N, Sporiš G, Fiorentini B, Fiorentini F, Turner A, Vučković G. Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *TheScientificWorldJournal*. 952350, 2013.
16. Meckel Y, Machnai O, Eliakim A. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(1): 163-169, 2009.
17. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*, 21(7): 519-528, 2003.
18. Nikolaidis P T, Dellal A, Torres-Luque G, Ingebrigtsen J. Determinants of acceleration and maximum speed phase of repeated sprint ability in soccer players: A cross-sectional study. *Science & Sports* 30(1): e7-e16, 2015.
19. Ortiz J G, Teixeira A S, Mohr P A, Do Nascimento Salvador P C, Cetolin T, Guglielmo L G A, Dantas de Lucas R. The anaerobic speed reserve of high-level soccer players: a comparison based on the running speed profile among and within playing positions. *Hum. Mov.* 19: 65-72, 2018.
20. Rampinini E, Bosia A, Ferraresi I, Petruolo A, Morelli A, Sassi A. Match-related fatigue in soccer players. *Medicine & science in sports & exercise*, 43(11): 2161-2170, 2011
21. Sanders G J, Turner Z, Boos B, Peacock C A, Peveler W, Lipping A. Aerobic Capacity is Related to Repeated Sprint Ability with Sprint Distances Less Than 40 Meters. *International journal of exercise science* 10(2): 197-204, 2017.
22. Sandford G N, Laursen P B, Buchheit M. Anaerobic Speed/Power Reserve and Sport Performance: Scientific Basis, Current Applications and Future Directions. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(10): 2017-2028, 2021.
23. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(12): 1025-1044, 2005.
24. Støren Ø, Helgerud J, Johansen J M, Gjerløy L E, Aamlid A, Støa E M. Aerobic and Anaerobic Speed Predicts 800-m Running Performance in Young Recreational Runners. *Frontiers in physiology*, 12: 672141, 2021.

25. Støren O, Helgerud J, Støa E M, Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med sci sports exerc*, 40(6): 1087-1092, 2008
26. Styles W J, Matthews M J, Comfort P. Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(6): 1534–1539, 2016.
27. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 31(1):1-11, 2001.
28. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J sports med*, 38(3): 285-288, 2004
29. Yoshida T, Watari H. Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 67(3): 261-265, 1993.

Hvordan skal fotballspillere trene for å optimalisere de fysiologiske egenskapene i fotball?

Denne kappen følger artikkelen «MAS and MANS Predicts repeated sprint ability in youth soccer players», og må sees i sammenheng med denne.

I artikkelen ble det vist at maksimal aerob hastighet (MAS) og maksimal anaerob hastighet (MANS) var bestemmende faktorer for tidsprestasjon i repeterte sprinter (RS) i fotball. Denne kappen fokuserer på det teoretiske grunnlaget for denne artikkelen, samt hvordan fotballspillere kan trene effektivt for å utvikle MAS og MANS.

1.0 Fotballens fysiologiske krav

Fotball sees på som den mest populære idretten i hele verden, både sportslig og kommersielt (Cuevas et al., 2020). Fotball er et komplekst spill og består av mange ulike ferdigheter som teknikk, taktikk, og fysiske ferdigheter (Rösch et al., 2000). Populariteten og den økonomiske styrken i fotball har ført til at fotball i større grad har blitt profesjonalisert (Bradley et al., 2016). Det vil si at klubber bruker mer penger på analyser, og fokuserer i større grad på detaljer (Cuevas et al., 2020). I moderne tid har man drevet mye forskning knyttet til fysisk trening i fotball, noe som har ført til bedre og mer gjennomtenkt treningsplanlegging (Bangsbo et al., 2006). Resultatet av dette er at det stilles høyere krav til de fysiske ferdighetene enn før (Bradley et al., 2009). I løpet av en fotballkamp er det mange situasjoner der det er helt avgjørende å være raskere, sterkere eller hoppe høyere enn motstanderen, noe som kan være helt utslagsgivende for resultatet av kampen (Stølen et al., 2005).

Det finnes ikke en nøyaktig fasit på hvilke fysiologiske egenskaper en fotballspiller bør besitte. Hvilke fysiologiske egenskaper spilleren bør ha avhenger i stor grad av hvilken posisjon man spiller, og hvilken rolle man har i laget (Haugen et al., 2013). Utholdenhet, hurtighet, bevegelighet, spenst og styrke er noen av de viktigste fysiologiske egenskapene for en fotballspiller (Tønnesen et al., 2019).

1.1 Betydningen av VO_{2max} i fotball

Fotballspillere i dag tilbakelegger flere meter enn før (Bradley et al., 2009). Under en fotballkamp på elitenivå løper hver spiller i snitt et sted mellom 10km og 12km, på en

gjennomsnittlig intensitet rett under den anaerobe laktatterskelen (LT), rundt 80-90% av HF_{max} (McMilan et al., 2005; Stølen et al., 2005; Bradley et al., 2009). LT blir definert som den høyeste intensiteten man klarer å holde der kroppen produserer like mye laktat som den klarer å kvitte seg med (Hoff et al., 2002). Selv om spillerne i snitt ligger rett under LT i kamp, ser det ut til at spillerne sjeldent ligger på LT, men enten over eller under LT (Hoff et al., 2002). LT blir oppgitt som en viss prosent av maksimalt oksygenopptak (VO_{2max}), og henger derfor tett sammen med VO_{2max} (Hoff et al., 2002). VO_{2max} er definert som den høyeste oksygenmengden et individ kan ta opp, transportere og forbruke under fysisk aktivitet (Basset & Howley 2000). VO_{2max} oppgis i liter per min ($L \cdot min^{-1}$) (Åstrand et al., 2003). Når vi omtaler VO_{2max} i en prestasjonssammenheng brukes som regel benevnelsen $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, og blir også omtalt som kondisjontallet (Helgerud et al., 2007). VO_{2max} er en av de viktigste faktorene for prestasjon i utholdenhetsidretter (Helgerud et al., 2007).

En fotballkamp består av ca. 90% aerob energiomsetning (Helgerud et al., 2001). Hvor langt spillerne løper i kamp har sammenheng med spillerens VO_{2max} (Wisløff et al., 1998; Helgerud et al., 2001), samtidig synes det ikke å være forskjeller på gode og mindre gode lag i hvor langt de i gjennomsnitt løper pr kamp (Clemente et al., 2019). Allikevel fant Helgerud et al. (2001) at ved å øke spillernes VO_{2max} med 10.8% over 8 uker, løp spillerne 20% mer i kamp, samtidig som de hadde 24.1% mer ballkontakt. Man ser også at VO_{2max} korrelerer med hvordan man presterer i ligaen (Wisløff et al., 1998; Hoff et al., 2002). Flere studier har også sett at høyintensitets løping og sprinter er en bedre indikator for prestasjon (Rampinini et al., 2007; Bradley et al 2011; Rivilla-Garcia et al., 2019). Derfor kan det antas at høy VO_{2max} ser ut til å være en bestemmende faktor for hvor mange sprinter som blir gjennomført i en fotballkamp (Helgerud et al., 2001).

Hvor langt spillerne løper i kamp avhenger også av hvilken posisjon man spiller (Dellal et al., 2010). Studien til Dellal et al. (2010) så på total distanse tilbakelagt i den franske toppdivisjonen i 2005/06 sesongen. Midtbanespillere løp lengst med 11.8km, angrepspillere med 10.9km og forsvarspillere med 10.5km per kamp (Dellal et al., 2010). Disse funnene stemmer godt med Wisløff et al. (1998) som så at midtbanespillere hadde best VO_{2max} 66.4 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), etterfulgt av angrepspillere 63.5 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), og deretter forsvarspillere 61.5 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$).

1.2 Sprint i fotball

Høyintensitetsløp og sprint i fotball er avgjørende for prestasjon i fotball (Ref.). Antall sprinter i løpet av en kamp korrelerer i stor grad med laget suksess (Helgerud et al., 2001). Rette sprinter er den hyppigste handlingen før et mål blir scoret eller assistert (Haugen et al., 2014). Selv om 90% av fotballkampen gjennomføres med lav eller moderat intensitet, blir de resterende 8-12% gjennomført som sprinter og høyintensitetsløping (Helgerud et al., 2001). En fotballspiller gjennomfører mellom 17-81 sprinter pr. kamp, der hver sprint varer i gjennomsnitt mellom 2-4 sekunder. Dette betyr at de fleste sprintene er kortere enn 20 meter (Haugen et al., 2014).

Fotball som idrettsgren er stadig i utvikling og man kan se endringer både når det gjelder bevegelsesmønstre og fotballspillerens fysiske egenskaper i dagens fotball sammenlignet med tidligere (Haugen et al., 2013; Branes et al., 2014). I løpet av syv sesonger fra 06/07-12/13 i Premier League så man en tydelig økning i antall meter sprintet ($>25.1 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$) i løpet av en kamp, fra $232 \pm 114\text{m}$ til $350 \pm 139\text{m}$ (Barnes et al., 2014). Samtidig økte gjennomsnittlig antall sprinter fra 31 ± 14 til 57 ± 20 (Barnes et al., 2014). Vi ser også at fotballspillere sprinter raskere (Haugen et al., 2013). Elitefotballspillere i tidsepoken fra 2006-2010 var 1.4% raskere enn elitespillere fra 1995-1999 (Haugen et al., 2013).

Hvor rask man er har også vist sterk korrelasjon med hvilket nivå man spiller på. Landslagspillere var 3.8% raskere enn spillere i 3-5 divisjon på 20 meter (Haugen et al., 2013). 3.8% raskere, eller 0.11 sekunder på en 20 meter kan virke ubetydelig, men 0.11 sekunder på 20 meter utgjør hele 76 cm! Hvilket betyr at disse hundredelene kan være helt avgjørende for å nå ballen først (Haugen et al., 2014).

1.2.1 Definisjon av sprint og høyintensitetsløp

Det finnes ulike definisjoner på hva som er høyhastighetsløping og hva som kategoriseres som sprint i fotball (Dellal et al., 2010; Barnes et al., 2014; Bradley et al., 2015). Bradley et al. (2015) og Barnes et al. (2014) kategoriserer høyintensitetsløp mellom $19.8-25.1 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$, og sprinter i $>25.1 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Dellal et al. (2010) kategoriserer høyintensitetsløp fra $21-24 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$, og sprint $>24 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Ser vi til andre idretter som friidrett, vil en gjennomsnittlig profesjonell sprinter ha en gjennomsnittsfart på $35 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og en løper ha en gjennomsnittsfart på $20-22 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ på langdistanseløp (Haugen et al., 2014). Ulike definisjoner kan gjøre det metodisk problematisk å sammenlikne resultater, og være med

på å svekke validiteten og reliabiliteten (Haugen et al., 2014). Samtidig vil det være en svakhet at studiene ikke fanger opp alle akselerasjonene ettersom de ikke oppnår den farten som kreves for å bli kategorisert som sprint eller høyintensitets løping (Haugen et al., 2014). Varley & Aughey. (2012) så at fotballspillere i den australske ligaen akselererte 8 ganger mer enn antall sprinter som ble loggført, det tyder på at antall sprinter og høyintensitetsløp kan være underestimert i eksisterende forskning (Varley & Aughey, 2012).

1.3 Repeated-Sprint Ability

Repeated-sprint ability (RSA) er evnen til å utføre gjentakende sprinter med korte pauser (Haugen et al., 2014). RSA blir ofte målt i ulike lagsporter, der RS er viktig for prestasjonen (Haugen et al., 2014). Det er designet en rekke ulike RSA-tester, der de fleste testene baserer seg på sprinter mellom 15-40 meter, 6-15 repetisjoner og med 15-30 sekunders pause (Haugen et al., 2014). Stagnerende sprintytelse (SS) er en variabel som blir brukt for å kvantifisere RSA, og kroppens evne til å motstå utmattelse vil derfor være en avgjørende faktor for RSA (Haugen et al., 2014). Ved en eksplosiv handling som sprint, vil kreatinfosfat-systemet bli tatt i bruk (Krustrup et al. 2006). Etter en sprint blir kreatinnivået i cellen redusert, noe som fører til fall i sprintprestasjoner (Girard et al., 2011). Muskel tretthet er sterkt knyttet til aerob metabolisme, og en spiller med høy VO_{2max} vil derfor ha en bedre forutsetning for å opprettholde farten etter RS (Haugen et al., 2014). Også gjenoppbygningen av kreatinfosfat-systemet ser ut til å være aerobt betinget (McCully et al. 1993; Yoshida & Watari, 1993). Det vil si at utøvere med høy VO_{2max} har raskere oppbygning av kreatinfosfatlagrene enn normalt trente (Yoshida & Watari, 1993). Dette betyr at spillere med god aerob utholdenhet kan utføre eksplosive handlinger hyppigere. Etter 2-5 minutter med hvile eller lavere intensitet vil kreatinfosfatlagrene være gjenoppbygget (Tomlin & Wenger, 2001). Intensiteten i spillet har derfor mye å si for hvor raskt man klarer å sprinte i en gitt situasjon. Fallet i sprint prestasjon vil bare være midlertidig, ettersom kreatinfosfatlagrene blir fylt opp (Mohr et al., 2003).

1.4 Muskulær tretthet

De siste 15 minuttene av en fotballkamp ser man at antall sprinter reduseres betydelig, og det blir vanskelig å sprinte på det nivået man gjorde tidlig i kampen (Bradley et al., 2009). Rampinini et al. (2011) omtaler dette som permanent muskulær tretthet. Årsaken

til den permanente muskulære trettheten kan skyldes flere ulike faktorer. Mot slutten av en fotballkamp vil glukosenivået i kroppen synke til verdier under hva som kreves for å prestere optimalt ($200\text{mmol}\cdot\text{kg tørrvekt}^{-1}$) (Bangsbo et al., 2006). Krstrup et al. (2006) så at glukosenivået i kroppen var redusert til $150\text{-}300\text{mmol}\cdot\text{kg tørrvekt}^{-1}$ mot slutten av kampen. Samtidig var halvparten av type- I og II muskelfibrene tømte for glykogen (Krstrup et al., 2006). Dehydrering og overopphetning ser også ut til å spille en rolle for muskulær tretthet og virke negativt på prestasjon (Reilly, 1997; Magal et al., 2002). Fotballspillere kan miste 3 liter væske eller mer i varme forhold ($26\text{-}33^\circ\text{C}$) (Reilly, 1997). Dehydrering fører til redusert sprint evne (Magal et al., 2002). Samtidig fant Krstrup (2006) bare et væsketap på 1% av kroppsvekt, men kunne fortsatt se en reduksjon i sprintprestasjoner. Den foreliggende studien er ikke representativ for en 90 minutters fotballkamp, og vi kan derfor ikke si stort om den permanente muskulære trettheten, ettersom 15·20m-testen kun varer 25 minutter. 40 meter fra pre til post viste ingen endringer i sprint prestasjon tre minutter etter siste RS, og dermed ingen tegn til permanent muskeltretthet.

2.0 MAS og MANS

2.1 Maksimal aerob kapasitet og hastighet (MAS)

I den foreliggende studien har vi valgt å bruke betegnelsen «Maximal aerobic speed» (MAS). Dette ble gjort på bakgrunn av at MAS vil være et mer nøyaktig mål enn $\text{VO}_{2\text{max}}$ alene, ettersom også løpsøkonomi blir beregnet inn i MAS (Støren et al., 2021). For å finne MAS deles $\text{VO}_{2\text{max}}$ på løpsøkonomi målt som oksygenkostnad pr meter løpt (C_r) (Støren et al., 2021). MAS forteller hvilken fart som maksimalt kan oppnås ved stadig større utnyttelse av det aerobe energisystemet (Støren et al., 2021). Tidligere har man sett at utøvere med betydelig differanse i $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($73.3\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ mot $60.4\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) likevel kan ha tilsvarende prestasjoner i en løpskonkurranse (Daniels & Daniels, 1992). Dette kan forklares ved at utøvere med lavere $\text{VO}_{2\text{max}}$ kunne ha en betydelig bedre C_r og dermed likevel ha en høy MAS. MAS har vist seg å være en god indikator for å predikere en utholdenhetsprestasjon (Støa et al., 2020).

Den foreliggende studien viser at MAS korrelerte sterkt ($r=0.760$; $p<0.01$) med prestasjon på RS.

2.1.2 Begrensende faktorer for VO_{2max}

VO_{2max} er den viktigste enkeltfaktoren og setter en øvre grense for en aerob utholdenhetsprestasjon (McArdle et al., 2015). VO_{2max} bestemmes av sentrale faktorer som hjerte, blod, lunger, muskelfibersammensetning, mitokondrie, kapillærer og oksidative enzymer (Saltin, 1988; Bassett & Howley, 2000). Under et fullkroppsarbeid med maksimal innsatts vil O_2 tilgjengeligheten være den begrensende faktoren (Wagner, 1996). De begrensende faktorene på VO_{2max} kan deles inn i supply and demand eller tilbud og etterspørsel (Wagner, 1996; Bassett & Howley, 2000). Alt som bidrar til å transportere oksygen til den arbeidende skjelettmuskulaturen blir betegnet som supply, mens alt som bidrar til forbruk av O_2 vil gå under demand (Wagner, 1996).

2.1.3 Plasmavolum og Hemoglobin

VO_{2max} korrelerer stekt med hjertets minuttvolum (MV), altså hvor mye blod som fraktes rundt i kroppen på et minutt (McArdle et al., 2015). MV bestemmes av slagvolum (SV) · hjertefrekvens (HF) (McArdle et al., 2015). HF ikke er trenbart og derfor må slagvolumet endres dersom vi skal se en økning i MV (McArdle et al., 2015). Økning i SV gir en tilnærmet parallell økning i VO_{2max} (Helgerud et al., 2007).

98% av oksygenet transporteres bundet til hemoglobin, resterende 2% flyter løst i plasma (McArdle et al., 2015). Ved utholdenhetstrening kan man øke plasmavolumet (PV) (Fellemann, 1992). Økt PV fører til redusert hematokritverdier (HCT), altså tettheten av røde blodceller (Fellemann, 1992). Som følge av Redusert HCT regulerer krittimeter i nyrene EPO-utskillelsen for å stabilisere HCT på 45% (Montero & Lundby, 2018). Dette resulterer i økt PV med tilnærmet lik HCT, altså mer blod, som igjen fører til økt VO_{2max} (Montero & Lundby, 2018).

Vi ser altså ved helkroppsarbeid at oksygenleveransen er det som i hovedsak begrenser et individs VO_{2max} (Basset & Howley, 2000). Under et arbeid vil oksygenet transporteres ned i lungene fra alveolene til blodet, dette kalles diffusjon (McArdle et al., 2014). Under maksimalt arbeid vil oksygenmetningen hos normal trente individer være rundt 95%, mens man har sett lavere oksygenmetning hos bedre trente utøvere (Dempsey et al., 1984). Årsaken til denne differansen kan skyldes diffusjonstiden. En godt trent utøver med høy VO_{2max} har et større minuttvolum med maksimalt arbeid, blodet må transporteres raskere gjennom lungekapillærene og får mindre tid til å binde seg til et Hb molekyl som fører til redusert oksygenmetning i blodet (Dempsey et al., 2008). I Powers

et al. (1989) så man en tydelig forskjell på godt trente utøvere på oksygenmetning og VO_{2max} i et oksygenfylt rom (26%). Elitegruppen økt VO_{2max} fra 70.1 til 74.7 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), og gikk fra en oksygenmetning fra 90.6% til 95.9%. Imidlertid så man ingen forskjeller i disse verdiene hos normal trente ($56.5 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Powers et al., 1989). Studien til Powers et al. (1989) er med på å understreke forskjellen i diffusjonstiden fra normal- til eliteutøvere.

2.1.4 Hvordan trene VO_{2max} ?

Tidligere forskning har vist at høy-intensiv aerob intervalltrening (HAIT) er den mest effektive treningen for å øke VO_{2max} (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Helgerud et al., 2007). Intensiteten i HAIT er som regel mellom 90-95% av HF_{max} (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2007). Det finnes ulike metoder og intervaller for å gjennomføre en HAIT. 4·4min er en økt som har vist seg å forbedre VO_{2max} blant fotballspillere og skiløpere (Helgerud et al., 2001; Hoff & Helgerud, 2007). 47·15/15 sekunder (løpe/pause) har vist å være tilnærmet like effektiv som 4·4min (Hoff & Helgerud, 2007). Mye tyder på at det ikke er selve designet eller strukturen på økta, som er avgjørende for økningen i VO_{2max} , men hvor om mange minutter man holder seg i nærheten av VO_{2max} under treningen (Turnes et al., 2016).

Trening på LT (85% av HF_{max}), eller Rolig langkjøring (RL), (70% av HF_{max}), har vist seg å gi liten til ingen effekt på VO_{2max} blant godt trente (Helgerud et al., 2007), selv om andre studier har funnet økt VO_{2max} også etter kontinuerlig moderat trening, men da på utrente (Edge et al., 2006). Macpherson. (2011) fant også at kontinuerlig rolig trening (65% av VO_{2max}) kan forbedre VO_{2max} hos utøvere med lave VO_{2max} verdier. Utholdenhetsutøvere varierer som regel treningen med perioder med forskjellige nivå av volum og intensitet inn mot konkurranse (Laursen et al., 2010).

Treningsstatus spiller en stor rolle for hvor stor økning i VO_{2max} man kan forvente seg gjennom HAIT (Helgerud et al., 2007; Støren et al., 2016). Utøvere med høy VO_{2max} bør sannsynligvis trene mer i nærheten VO_{2peak} (dvs. 90-95% av HF_{max}), for å ytterlig forbedre VO_{2max} (Laursen et al., 2002). Antakeligvis trenger disse utøverne også lengre total intervalltid enn utrente utøvere, for å optimalisere treningseffekten (Hoff et al., 2002).

2.1.5 Arbeidsøkonomi

Arbeidsøkonomi (C), eller løpsøkonomi (C_r) er et mål på hvor mye oksygen et individ forbruker på å bevege seg en gitt distanse (Bunc & Heller, 1989) eller oksygenforbruk på en gitt submaksimal arbeidsbelastning (di Prampero et al., 1986). Arbeidsøkonomi for løping blir vanligvis definert som steady-state oksygenopptak i $L \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ eller i $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (Bunc & Heller, 1989, di Prampero et al., 1986). For å få valide mål av C_r må målingene gjennomføres på en submaksimal belastning av $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Morgan et al., 1989; Saunders et al., 2004). Ved for lav intensitet gjenspeiles ikke alltid bevegelsesmønsteret i aktuell bevegelsesform, og ved for høy intensitet vil ikke lengre C_r gjenspeile energiforbruket (Helgerud et al., 2010; Fletcher & MacIntosh, 2017).

Variansen i C_r er svært stor og kan variere med hele 20% mellom elite løpere (Morgan et al., 1995). Man ser sammenheng mellom andel type I fibre og god C hos syklister (Colye et al., 1992). Type I fibre er oksidative og med det utholdende (Kenney et al., 2015). For å oppnå bedre C har maksimal styrketrening (MST) vist seg å være svært effektivt (Støren et al., 2008). Mengde eller antall kilometer løpt vil også ha en sammenheng med hvor god C_r er (Scrimgeour et al., 1986). Scrimgeour et al. (1986) så at løpere som løp 100 km i uken hadde bedre C_r enn de som løp 60 km i uken.

2.2 Maksimal anaerob hastighet (MANS)

MANS står for maksimal anaerob hastighet (Støren et al., 2021). MANS kan bli omtalt som topphastighet, og er den høyeste farten man kan oppnå med løping (Ortiz et al., 2018). I den foreliggende studien ble MANS målt gjennom den raskeste tiden mellom to målepunkter. Toppfarten for de fleste av spillerne ble funnet mellom 35-40 meter i den foreliggende artikkelen. Tregere atleter når toppfarten først (Slawinski, et al., 2017). Det var også tilfelle i denne studien der det var de tregeste som målte toppfart mellom 20-35 meter. Enkelte studier beregner MANS ut ifra gjennomsnittstid på en gitt distanse. Grunnet akselerasjon- og retardasjonsfasen vil MANS bli undervurdert et sted mellom 10-15% på en 100 meter (Janjić, et al., 2014). Grunnet en kortere sprintet distanse på 20 meter i denne studien ville utslaget vært enda større dersom man hadde beregnet gjennomsnittstid mellom 0-20 meter.

2.2.2 Hvordan forbedre MANS

Økt 1RM i knebøy fører til bedre prestasjoner i sprint (Wisløff et al., 2004; Wong et al., 2010; Hermassi et al., 2011; Helgerud et al., 2011; Styles et al., 2016). For å øke 1RM vil det være mest effektivt å trene MST (Wisløff et al., 2004). MST foregår på en belastning nær 1RM, helst på en motstand over 80% av 1RM (Kramer & Ratamess, 2004; Campos et al., 2002). Trening >80% av 1RM stiller høye krav til aktivering av motoriske enheter, og vil være med på å fremme de nevralt tilpasningene (Kramer & Ratamess, 2004). Relativ styrke (1RM/Kroppsvekt) i strekkapparatet ser ut til å være en avgjørende faktor for korte sprinter (McBride et al., 2009; Comfort et al., 2012). Derfor vil økt styrke uten å legge på seg nevneverdig være å foretrekke. Samtidig kan vi ikke bruke relativ styrke som eneste indikator for sprintprestasjoner. Det burde brukes dimensjonsskalering $\text{kg/kroppsvekt}^{-0.75}$ (Helgerud, 1994; Wisløff et al., 2004). Dersom vi bruker dimensjonsskalering vil tyngre atleter unngå å bli underestimert, mens lettere atleter ikke blir overestimert (Helgerud, 1994).

Evnen til å skape kraft raskt, rate of force development (RFD), vil være svært viktig i akselerasjonsfasen, og gi utslag på prestasjoner i sprint (Styles et al., 2016). Økt styrke fører til høyere RFD (Styles et al., 2016). Flere studier har også sett at plyometrisk trening vil gi en positiv effekt på sprint prestasjoner (Impellizzeri et al., 2007; Chelly et al., 2010). Spesifikk sprinttrening vil være med på å forbedre prestasjoner i sprint og dermed øke MANS (Rumph et al., 2016). Vanlig sprinttrening kan gi en positiv effekt på sprintteknikken, først og fremst gjennom bedre koordinering av agonister og antagonister gjennom de ulike fasene av løpsstegene (Rumph et al., 2016). Spesifikk sprinttrening kan også gjøres med ekstra motstand, motstand >10% av kroppsvekten eller en vekt som gir deg 10% dårligere tid vil gi god effekt på sprint prestasjoner (Rumph et al., 2016).

2.3 Anaerob speed reserve (ASR)

Anaerob speed reserve (ASR) vil si differansen Mellom MANS og MAS (Sandford et al., 2019). Dersom to utøvere har lik MAS men ulik MANS, og dermed ulik ASR vil det gi utslag i løpsøvelser som 800- og 1500 meter (Sandford et al., 2019; Støren et al., 2021). Årsaken til dette er at utøveren med høy ASR og MANS, vil løpe på en relativ lavere belastning av MANS (Sandford et al., 2019). Høy ASR vil bare være gunstig dersom det kommer på

toppen av høy MAS, og dermed høy MANS (Sandford et al., 2019; Støren et al., 2021). Den foreliggende studien viser at dette også gir utslag på RS, lik MAS, men ulik ASR vil gi utslag i prestasjon på RS.

3.0 Diskusjon

3.1 Metodiske betraktninger

Utforming av 15·20m Repeated Sprint Track

Selve utformingen av metoden skjedde gradvis. Idéen var å gjenspeile en fotballkamp. For å få til dette, var det et poeng med kontrollmålte rette sprinter, samtidig som vi implementerte elementer fra fotball, baklengsløp, sideløp og dribling. Distansen og tidskravet ble smått justert etter testing på oss selv og andre som var med på å utforme metoden. Sprint volumet skulle omtrentlig gjenspeile hva en fotballspiller sprinter i løpet av en kamp, eksempelvis 350 meter i 12-13 sesongen i Premier League (Barnes et al., 2014). Løypen i det foreliggende studiet ga i sum 300 meter sprint. Samlet distanse i løypen skulle dekke ca. 1/3 av en fotballkamp. Ettersom en profesjonell fotballspiller løper 10-12km per kamp (Bradley et al., 2009), ble det i denne løypen løpt totalt 4km på 25 minutter.

Svakheter og styrker ved testing av RSA

Man kan ut fra resultatene i denne løypen ikke med sikkerhet si at sammenhengen mellom MAS og dårligere prestasjon på RSA skyldes selve sprintene, eller den aktive pausen i løypen. Den aktive pausen opplevdes som svært krevende for enkeltpersoner. Ser vi på andre RSA studier som Jones et al. (2013), Baldi et al. (2016) og Aziz et al. (2000), som fant signifikante til moderate korrelasjoner har vi grunn til å tro at sprintene også vil virke negativt på prestasjon. Vi kan anslå at en utøver med god aerob utholdenhet har kortere restitusjonstid når det kommer til å fylle opp kreatinfosfatlagrene (Yoshida et al., 1993). Dette skyldes nok delvis at de ligger på en lavere relativ intensitet i den aktive pausen. De fleste spillerne med høy MAS i det foreliggende studiet ser ut til å ha lav ASR, dette vil igjen føre til at man prosentvis ikke ligger like mye over MAS, noe som gjør at hver enkelt sprint koster mindre (Ortiz et al., 2018).

Løypens validitet

En slik test vil aldri helt gjenspeile en fotballkamp. For at testen skulle være målbar og kunne kvantifiseres, ble konsekvensen at validiteten målt mot en reell kamp ble svekket. Alternativet kunne vært å gå inn i en fotballkamp å analysere hver enkelt sprint og sett hvordan de hadde utviklet seg over tid. Igjen ville man møtt på en rekke utfordringer ettersom hver fotballkamp lever sitt eget liv, der motivasjon, resultat, motstander og en rekke andre faktorer spiller inn.

Varigheten på testen er totalt 31 minutter dersom man inkluderer den innledende og den avsluttende 40 meter sprint, noe som aldri vil gjenspeile en hel fotballkamp. Rampinini et al. (2011) fremsetter at det finnes to ulike typer av muskeltretthet, en midlertidig og en permanent. I denne studien gjenspeilte sannsynligvis resultatene bare den midlertidige muskeltrettheten, siden den avsluttende 40m etter 15·20m ikke ble gjennomført på dårligere tid enn den innledende. Skulle vi eventuelt fanget opp den permanente muskeltrettheten, måtte testen ha vart opp mot 75 minutter. Fra spillanalyser har det blitt rapportert færre sprinter de siste 15 minuttene av kampen (Bradley et al., 2009). For å kvantifisere permanent muskeltretthet kunne man eksempelvis redesignet testen til en test der man målte RSA pre og post kamp. Man kunne ha gjennomført fem RS før og etter kamp, og sammenliknet tallene. Problemet med en slik test vil være logistikken. Det ville vært vanskelig å teste så mange personer samtidig. Skaderisikoen vil også øke, ettersom vi ser flest strekkskader mot slutten av kampen (Woods et al., 2004). Med en lang og skadeutsatt test vil det vært vanskelig å rekruttere lag og spillere.

Selv om Jones et al. (2013), Baldi et al. (2016) og Aziz et al. (2000) etter å ha testet RSA uten en løype med aktive pauser, i enda større grad viste sammenhenger mellom aerob utholdenhet og RSA, vil det være større grad av validitet å sette opp løypa med aktive pauser som i den foreliggende studien. 15·20m minner enda mer om en fotballkamp der man må bevege seg i ulike bevegelsesformer mellom hver sprint. Tradisjonelle RSA-studier har gjerne kortere pauser fra 20 til 30 sekunder (Aziz et al., 2000; Jones et al., 2013; Gharabi et al., 2015; Baldi et al., 2016). En sprint i fotball skjer med 60-90 sekunders intervaller (Haugen et al., 2013). Derfor vil en sprint hvert 100 sekund gjenspeile en fotballkamp bedre. Testen er også enkel å gjennomføre. Med oppvarming har testen en varighet på ca. en time. Heller ingen av spillerne ble skadet under 15·20m-testen.

Motivasjon og ulikheter

Denne testen gir til en viss grad rom for å styre intensiteten selv. Spillerne ble instruert til å gi 100% i hver sprint, løpe jevnt og bruke så nær 1:40 som de kunne. Hos enkelte kunne det se ut som de ikke maktet å gi 100% i hver sprint fordi de viste at de hadde flere igjen. Det er vanskelig å kontrollere om personene løper jevnt i en slik løype, løper man veldig i rykk og napp gjør man testen vanskeligere for seg selv, noe som potensielt kan slå ut på resultatet. Enkelte spillere med høy MAS fullførte sine runder på rundt 1:20, disse ble bedt om å slakke ned farten. Flere fortsatte i samme fart, og har dermed løpt fortere enn nødvendig. Dette kan potensielt ha ført til at den viste sammenhengen mellom MAS og evne til å opprettholde sprints hastighet faktisk kunne vært enda tydeligere.

C i løp rett frem versus C i fotballspill

På laboratoriet målte vi C_r , som gir et tall på hvor økonomisk man beveger seg rett frem (Støren et al., 2009). C_r vil ikke nødvendigvis gjenspeile C i 15·20m-løypa. Reilly & Ball. (1984) så eksempelvis i sin studie at man brukte 24% mer energi med ball enn uten. Dette vil sannsynligvis variere etter hvor god hver enkelt spiller er til å føre ball (Reilly & Ball., 1984). Det er også sannsynlig at C er høyere under retningsforandring, sideløp og baklengsløp. Fotballspesifikk arbeidsøkonomi (C_f) er noe denne studien ikke tar høyde for, og dette kan dermed være en svakhet når man skal sammenlikne MAS med prestasjoner i 15·20m.

3.2 Betraktninger rundt resultatene fra studien

MAS og MANS

I studien ønsket vi å se om det var en sammenheng mellom MAS og total sprint tid (TT), resultatet var en sterk korrelasjon med en relativt liten standardfeil ($r=0.76$, $SEE=3.6\%$). Den sterke korrelasjonen kan skyldes raskere gjenoppbygning av kreatinfosfatlagrene hos spillerne med høyest MAS (McCully et al. 1993; Yoshida & Watari, 1993). Dette kan nok videre skyldes at de med høyest MAS arbeider på lavere relativ intensitet i løypens aktive pauser. Resultatene samsvarer også med tidligere studier som har sett en sammenheng mellom aerob kapasitet og RSA (Aziz et al., 2000; Meckel et al., 2009; Jones et al., 2013; Gharabi et al., 2015; Nikolaidis et al., 2015; Baldi et al., 2016; Sanders et al., 2017),

MANS alene korrelerte ikke like sterkt med RSA ($r=0.451$, $SEE=4.4\%$). Denne sammenhengen så også ut til å bli svakere lengre ute i testen. I tabell 2 ser vi at det er lite forskjell mellom S1 tidene til «highMAS» og «lowMAS», men at det blir større avstand i S2 og S3. Dette støttes også av Meckel et al. (2009) som sier at ved flere RS vil aerob kapasitet ha større påvirkning på resultatene. Forskjellene i sprinttid mellom de med høy MANS og lav MAS og de med lavere MANS og høy MAS ble borte eller snudd på hodet mot slutten av testen i løypen (tabell 3). Dette indikerer at en fotballspiller med høyere MANS ikke nødvendigvis vil spurtslå en motspiller med lavere MANS og høyere MAS mot slutten av en kamp.

$0.5MAS + 0.5MANS$ ga en enda sterkere korrelasjon ($r=0.813^{**}$, $SEE=2.9\%$), noe som forteller oss at det vil være gunstig for en fotballspiller å fokusere på å forbedre både MAS og MANS. Siden MAS gir en enda større korrelasjon enn MANS kan det tenkes at man i større grad bør vektlegge MAS, i hvert fall dersom MANS ikke er altfor dårlig. Når det er sagt finnes det ulike arbeidskrav for hver enkelt spiller, og hver enkelt posisjon på banen (Dellal et al., 2010). Det vil si at vektingen av MAS og MANS vil kunne være forskjellig for hver enkelt spiller. Hvor mye hver enkelt spiller løper, sprinter og hvilken intensitet spilleren ligger på vil være med på å avgjøre dette. Spillerens utgangsform vil i stor grad være med på å bestemme vektleggingen av MAS og MANS. En spiller med lav MAS og høy MANS, vil sannsynligvis lettere forbedre seg i 15·20m-testen ved å trene på elementer som forbedrer MAS. Ved lav MAS kan man forvente en større prosentvis økning etter trening (Støren et al., 2016).

Det finnes flere studier som har undersøkt viktigheten av MAS og MANS for fotballspillere, og funnet liknede funn som i artikkelen (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Wisløff et al., 2004). Andre studier har også undersøkt sammenhengen mellom aerob utholdenhet og RSA. Jones et al. (2013) fant i sin studie en sammenheng mellom aerob utholdenhet og RSA. I denne studien gjennomførte deltakerne 6·40m, 20 meter sprint med 180 graders vending halvveis (20 + 20m), med 20 sekunders pause. Denne studien viste en signifikant negativ korrelasjon mellom VO_{2max} og total TT ($r=-0.591$, $p<0.01$). Baldi et al. (2016) tok i bruk samme metode som Jones et al. (2013), men fant ikke en like sterk korrelasjon mellom VO_{2max} og TT ($r=-0.44$, $p<0.05$). Dette samsvarer med studien til Aziz et al. (2000) som heller ikke fant en signifikant korrelasjon ($r=-0.346$, $p<0.05$) mellom VO_{2max} og TT i te. I denne studien gjennomførte deltakerne 8 RS på 40 meter med 30 sekunders pause.

Meckel et al. (2009) så ingen signifikante korrelasjoner mellom VO_{2max} og TT i sine repeted sprint-track (RST) (6·40m og 12·20m). Heller ikke Gharabi et al. (2015) fant signifikante korrelasjoner mellom VO_{2max} og TT i sin 10·30m (15+15m) RST. Testen ble gjennomført med 30 sekunders pause. Kortere sprint distanse og lengre pause kan være med på å gi forskjellige resultater fra de øvrige studiene. Det ser også ut til at flere sprinter gjør arbeidet mer aerobt (Meckel et al., 2009).

Enkelte studier har i tillegg implementert MANS og undersøkt betydningen av MANS for TT i RSA. I studien til da Silva et al. (2010) var det den raskeste sprint tiden (MANS) som forklarte 78% av total tiden i 7·34.2 meter RST. Sammen med laktat terskelfart forklarte det hele 89% av prestasjonen i RST (da Silva et al., 2010). Dette samsvarer med funnene i denne studien der MANS og MAS predikerte mer av RSA resultatene enn enkeltvariablene alene. Det at MANS var den viktigste faktoren i 7·34.2 meter løypen til da Silva et al. (2010), er imidlertid ikke i samsvar med resultatene i den foreliggende studien. Trekker vi inn Meckel et al. (2009) kan det tenkes at antall RS avgjør om MANS eller MAS er den viktigste faktoren i RSA. Den aktive pausen og total varigheten i 15·20m kan også være med på å gjøre testen mer aerob. Baldi et al. (2016) så også på countermovement jumps (CMJ) og squat jump (SJ) hadde en sterk korrelasjon mellom TT i RST. Spenstprestasjoner har en sterk korrelasjon med sprinthastighet (Wisløff et al., 2004). CMJ og SJ kan eventuelt blir brukt som et alternativ for MANS i et testbatteri for fotballspillere.

Ulike funn i RSA skyldes i stor grad oppsettet av selve RST (Meckel et al., 2009). Ulik sprintlengde, sprinter og pauser kan være med å gi ulike resultater (Meckel et al., 2009).

Nevromuskulær tretthet

Hensikten med å ha en 40 meter pre og post test med full hvile (3 minutter) var todelt. Det var interessant for å måle toppfart eller MANS, noe som ville vært utfordrende på bare 20 meter. Samtidig ønsket vi å undersøke om selve belastningen av 15·20m-løypa var nok til å forverre sprintprestasjonen fra pre til post, dersom det var lagt inn en tre minutters pause før avsluttende 40m. Vi så ingen sammenheng mellom MAS og tap av tid i 40 meter fra før til etter gjennomføringen av sprintløypen, noe som ikke er så rart da gjennomsnittstiden heller ikke endret seg fra før til etter løypen. Basert på Rampanini et al. (2011) finnes to ulike former på muskeltretthet, en midlertidig og en permanent. Det er naturlig å anta at spillerne i det foreliggende studiet kun opplevde den midlertidige muskulære trettheten. Den midlertidige muskeltrettheten forårsakes i stor grad av at

kreatinfosfatlagrene ikke vil rekke å fylles opp mellom sprintene, og i størst grad for dem med lav MAS (Yoshida & Watari, 1993). Når det gjelder den noe mer permanente nevro-muskulære trettheten, har studier som har undersøkt dette rapportert at fotballspillere ikke presterer noe særlig dårlige før ut i 2. omgang (Bradley et al., 2009). Det har blitt foreslått at en av årsakene til dette er at glykogenlagrene gradvis tømmes (Krustrup et al., 2006). For å kunne si noe om høy MAS har en sammenheng mellom permanent muskulær tretthet må testen vare lengre enn i den foreliggende studien.

3.3 Praktiske implikasjoner for effektiv fysisk trening av fotballspillere

MAS

Et av formålene med studien var å finne ut hvordan fotballspillere effektivt skal trene for å prestere bedre på fotballbanen. Ser vi på funnene i artikkelen og samsvar med andre studier bør fotballspillere fokusere på HAIT for å forbedre MAS (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2007). Antall økter og total dragtid bør individualiseres etter erfaring og nivå, ettersom godt trente utøvere trenger mer stimuli for å øke sin VO_{2max} (Hoff et al., 2002; Støren et al., 2016). Bedre aerob utholdenhet vil føre til at fotballspillere kan prestere bedre på RS (Aziz et al., 2000; Meckel et al., 2009; Jones et al., 2013; Gharabi et al., 2015; Nikolaidis et al., 2015; Baldi et al., 2016; Sanders et al., 2017), samt tilbakelegge flere metere på banen (Wisløff et al., 1998; Helgerud et al., 2001). Spillerne vil også kunne få enda flere berøringer med ballen (Helgerud et al., 2001). Siden MAS er et produkt av VO_{2max} og C_r , vil det være gunstig også å bedre C_r (Saunders, et al., 2004). Studier har vist at MST kan forbedre C_r på 8 uker (Støren et al., 2008). Samtidig som økt treningsvolum i relevant bevegelsesmønster vil kunne forbedre C_r (Coyle, 2005). Ettersom fotball er et komplekst spill, og forholdsvis har sin egne arbeidsøkonomi C_f , kan det tenkes at det vil være mer relevant for fotballspillere å trene mengde i fotballspesifikke bevegelser, altså spille fotball. Hoff et al. (2002) har også sett at det er mulig å kombinere HAIT med C_f ved bruk av dribbleløype. Det kan tenkes at denne formen for intervalltrening er å foretrekke i breddefotballen, ettersom spillerne på dette nivået har mye å gå på både på det fotballtekniske og fysiske form. Selvsagt burde dette også individualiseres etter spillernes forbedringspotensial.

MANS

MANS korrelerte ikke signifikant med TT i RSA, men bidro til en sterkere korrelasjon enn MAS alene i den foreliggende studien. Balsom et al. (1992) så at fotballspillere som løp 15·40 meter med 30 sekunder fikk en 10% SS mens med 60 og 120 sekunders pause var

SS 3% og 2%. Dermed vil MANS få en større betydning dersom man gjennomfører få sprinter, eller sprinter med lengre pause (Balsom et al., 1992). For å øke MANS vil det være effektivt å øke styrken i strekkapparatet (McBride et al., 2009; Comfort et al., 2012). For å øke styrken på en effektiv måte har Hermassi et al. (2011) og Helgerud et al. (2011) vist at MST gjennomført som knebøy to ganger i uka over 8 uker er effektivt for å øke 1RM, og dermed øke sprintprestasjoner. Optimalt sett ønsker fotballspillere å øke styrken uten å bli nevneverdig tyngre, ettersom relativ styrke også er en viktig faktor for sprintprestasjoner (Comfort et al., 2014). Ren hypotrofitrening bør derfor muligens frarådes. Spesifikk sprinttrening vil også kunne gi økt MANS (Rumph et al., 2016). Spenst har også vist seg å korrelere sterkt med sprintprestasjoner, og er i seg selv en viktig faktor i fotball (Comfort et al., 2014; Tønnesen et al., 2019). MST har vist seg å ha en positiv effekt på CMJ (Comfort et al., 2014). Adams et al. (1992) mente at kombinasjonen av MST og plyometrisk trening ga bedre effekt på kraft i sammen, enn hver av dem individuelt. Rønnestad et al. (2008) fant at det ikke ville være noen forskjell i resultater på MANS eller CMJ ved å bare trene styrke forutsatt samtidig fotballtrening.

ASR

Vi så ingen signifikante korrelasjoner mellom ASR og TT i RSA ($r=-0.244$). Dermed ser det ut til at ASR har liten innvirkning på TT i RSA. Vi ser imidlertid en sterk korrelasjon mellom ASR og SS ($r=0.722$, $p<0.001$). Det vil si at spillere med høy ASR har større SS i RST. Dette kan forklares med at disse spillerne ligger på en prosentvis høyere intensitet av MAS når de utfører en sprint, relativt sett av hva en spiller med lav ASR gjør. Likevel påpeker Sandford et al. (2021) at man ikke burde trene for å endre ASR, man bør fokusere både på MAS og MANS for bedre prestasjon.

Hva bør vektlegges mest i den fysiske treningen?

Ettersom fotball er et komplekst spill og det er mange faktorer som er ønskelig å forbedre, blir man nødt til å prioritere vektleggingene av visse faktorer (Haugen et al., 2014). Hvilken posisjon og rolle man har i laget vil være utslagsgivende for hva man ønsker å vektlegge (Haugen et al., 2014). Nikolaidis et al. (2015) foreslår at man fokuserer på den svakeste ferdigheten av MAS og MANS for å forbedre RSA.

Det vil også være forskjell på hvor mye fotballspillere kan trene, avhengig om man er i pre-sesong eller sesong. Liang et al. (2021) mener at MST ofte har en tendens til å bli prioritert bort under sesong. Ettersom MST er med på å forbedre mange ulike faktorer vil

det være hensiktsmessig å implementere MST i sesong (Liang et al., 2021). Rønnestad et al. (2011) sine funn støtter denne påstanden om å vedlikeholde styrke i sesong med minst en MST-økt i uken. Økten bør eventuelt gjennomføres 1-2 dager etter kamp, og 2-3 dager før (Rønnestad et al., 2011).

3.4 Videre forskning

Det kan være interessant å forske videre på betydningen av MAS og MANS for RSA. 15·20m-testen har forbedringspotensialet, og kan utarbeides til å gjenspeile en fotballkamp på en enda mer nøyaktig måte. Det vil også være interessant å forske på forholdet mellom treningsbelastning og restitusjon når man ønsker å optimalisere flere faktorer samtidig.

3.5 Konklusjon

Fotballspillere som ønsker å forbedre de fysiske forutsetningene i fotball bør fokusere på MST og HAIT for å forbedre MANS og MAS. HAIT kan kombineres med fotballspesifikke øvelser for å forbedre C_f . Vektlegging av treningen bør individualiseres til enkeltindivider, i forhold til erfaring, nivå, posisjon og rolle.

Litteratur liste

- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L & Climstein, M. (1992). The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *J. appl. sport sci. res.* 6(1):36-41.
- Aziz, A. R., Chia, M & The, K. C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(3): 195–200, 2000. PMID: 11125761
- Baldi, M., da Silva, J. F., Buzzacera, C. M., Castagna, C & Guelielmo, L. G. M. (2016). Repeated sprint ability in soccer players: associations with physiological and neuromuscular factors. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 57(1-2):26-32. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.05776-5>
- Balsom, P. D., Seger, J. Y., Sjødin, B & Ekblom, B. (1992). Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med.* 13(7):528-33. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021311>
- Bangsbo, J., Mohr, M., Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences.* 24(7): 665 – 674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., Bradley, P, S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International journal of sports medicine.* 35(13), 1095-100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70- 84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Gomez, D. A., Peart, D & Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-

intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 821–830.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>

Bradley, P. S., Archer, D.T., Hogg, B., Schuth, G., Bush, M., Carling, C., Barnes, C. (2015). Tier-specific evolution of match performance characteristics in the English Premier League: it's getting tougher at the top. *Journal of Sports Sciences*, (), 1–8.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1082614>

Bosquet, L., Leger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med.* 32(11):675-700. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00002>

Bunc, V., Heller, J., Moravec, P., & Sprynarova, S. (1989). Ventilatory threshold and mechanical efficiency in endurance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 58(7):693-8. <https://doi.org/10.1007/BF00637378>

Campos, G., Luecke, T., Wendeln, H., Toma, K., Hagerman, F., Murray, T., Staron, R. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology.* (1-2):50-60. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0681-6>

Clemente, J. A. A., Rewuena, B., Jukic, I., Nayler, J., Hernandez, A. S & Carling, C. (2019). Is Physical Performance a Differentiating Element between More or Less Successful Football Teams? *Sports (Basel)*. 7(10): 216.

<https://doi.org/10.3390/sports7100216>

Cuevas, C., Quilán, D., García, N. (2020). Techniques and applications for soccer video analysis: A survey. *Multimedia Tools and Applications*, (), –.

<https://doi.org/10.1007/s11042-020-09409-0>

Comfort, P., Haigh, A., & Matthew, J. M. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *J Strength Cond Res.* 26(3):772-6.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822a5cbf>

Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L & Clarkson. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength*

Cond Res. 2014 Jan;28(1):173-7.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>

Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Horowitz, J.F., and Beltz, J.D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type 1 muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc.*, (24),782–788.

PMID: 1501563

Coyle, E.F. (2005). Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *J Appl Physiol.* 2005 Jun;98(6):2191-6.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00216.2005>

Daniels J. & Daniels N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners.

Med Sci Sports Exerc., 24(4), 483–489. PMID: 1560747

da Silva, J. F., Guglielmo, L. G., Bishop, D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010 Aug;24(8):2115-21.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e34794>

di Prampero P.E., Atchou, G., Bruckner J. C, Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol.* 1986;55:259–66.

<https://doi.org/10.1007/BF02343797>

Dempsey, J. A., Hanson, P. G., Henderson, K. S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol*, 355, 161-175.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015412>

Dempsey, J. A., McKenzie, D.C., Haverkamp, H.C., Eldridge, M.W. (2008) Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults. *Chest*; 134(3):613-22. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2730>

Dellal, A., Wong, D.P., Moalla, W., Chamari, K. (2010). Physical and technical activity of soccer players in the French First League – with special reference to their playing position. *International SportMed Journal*, Vol.11 No.2, 2010, pp. 278-290.

<https://accelerationfootball.files.wordpress.com/2016/03/dellal-et-al-2010-physical-and-technical-activity-of-soccer-players-in-the-french-first-league-ismj.pdf>

- Edge, J., Bishop, D., & Goodman, C. (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol.* 96(1), 97–105.
<https://doi.org/doi:10.1007/s00421-005-0068-6>
- Fellmann, N. (1992). Hormonal and plasma volume alterations following endurance exercise. A brief review. *Sports Med*, 13(1), 37-49.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00004>
- Fletcher, J.R. & MacIntosh, B.R. (2017). Running economy from a muscle energetics perspective. *Front Physiol.* 2017 Jun 22;8:433.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00433>
- Gharbi, Z., Dardouri, W., Haj-Sassi, R., Chamari, K & Souissi, N. (2015). Aerobic and anaerobic determinants of repeated sprint ability in team sports athletes. *Biol Sport.* 2015 Sep; 32(3): 207–212. <https://doi.org/10.5604/20831862.1150302>
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop D. (2011). Repeated-Sprint Ability Part I: Factors Contributing to Fatigue. *Sports Medicine.* 41(8):673-94.
<https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
- Hoff J., Wisløff U., Engen L, C., Kemi O, J., Helgerud J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med.* 36, 218-221.
<https://doi.org/10.1136/bjism.36.3.218>
- Haugen, T., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic Performance Testing Of Professional Soccer. *International Journal Of Sports Physiology and Performance.* 8(2), ss. 148-156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.148>
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014) The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance;* 9(3), ss. 432-441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0121>
- Helgerud, J. (1994) Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performance level in marathons. *Eur J Appl Physiol.* 68:155–16. <https://doi.org/10.1007/BF00244029>
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., Hoff. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exercice.* 33(11):1925-31.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019>

- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Ragnhild, B., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 39(4):665-71. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Helgerud, J., Støren, Ø & Hoff, J. (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? *Eur J Appl Physiol.* 108(6):1099-105. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1218-z>
- Hermassi, S., Chelly, M., Tabka, Z., Shephard, R., & Chamari, K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 25(9):2424-33. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182030edb>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 39(11):2044-50. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>
- Janjić, N., Kapor, D., Doder, D., Doder, R., & Savić, B. (2014). Model for the Determination of Instantaneous Values of the Velocity, Instantaneous, and Average Acceleration for 100-m Sprinters. *Journal of strength and conditioning research.* 28(12), ss. 3432-3439 DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000606>
- Jones, R. M., Cook, C. C., Kilduff, L. P., Milanovic, Z., James, N., Sporis, G., Fiorentini, B., Fiorentini, F., Turner, A & Vuckovic, G. (2013). Relationship between Repeated Sprint Ability and Aerobic Capacity in Professional Soccer Players. *The Scientific World Journal.* <https://doi.org/10.1155/2013/952350>
- Kenney, W.L., Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (2015). *Physiology of sport and exercise*, United States of America: Human Kinetics.
- Kramer, W., & Ratamess, N. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 36(4):674-88. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>

- Krustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjær M, Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game. *Med Sci Sports Exerc.* 38(6), 1165-1174. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd>
- Laursen, N. P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 34(11):1801-7. <https://doi.org/10.1097/00005768-200211000-00017>
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports.* 20 (Suppl. 2): 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>
- Liang, Y., Altieri, C., Bird, S. P., Corcoran, G & Jiuxiang, G. (2021). The importance of in-season strength and power training in football athletes: A brief review and recommendations. *International Journal of Strength and Conditioning.* 1(1), e1-8. <https://doi.org/10.47206/ijsc.vi0.23>
- Magal, M., Webster, M. J., Sistrunk, L. E., Whitehead, M. T., Evans, R. K., & Boyd, J. C. (2002). Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance. *Med Sci Sports Exerc.* 35(1):150-6. <https://doi.org/10.1097/00005768-200301000-00023>
- McCully KK, Fielding RA, Evans WJ, Leigh jr JS, Posner JD. (1993). Relationship between in vivo and in vitro measurements of metabolism in young and old human calf muscles. *J. Appl. Physiol.* 75(2): 813-819.
- McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *J Strength Cond Res.* 23(6):1633-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b2b8aa. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b2b8aa>
- Macpherson, R. E. K., Hazel, T. J., Dylan, T. O., Paterson D. H., & Peter, L. W. R. (2011). Run Sprint Interval Training Improves Aerobic Performance but Not Maximal Cardiac Output. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 43(1), 115–122. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e5eacd>

- McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2015). *Exercise Physiology Nutrition, Energy, and Human Performance*. Baltimore: Wolters Kluwer Health.
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med.* 39:273–277. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.012526>
- Meckel, Y., Machnai, O & Eliakim, A. (2009). Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal of strength and conditioning research.*
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b9651>
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. August 2003. *Journal of Sports Sciences.* 21(7):519-28. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Montero, D., & Lundby, C. (2018). Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. *Compr Physiol.* 9(1), 149-164. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180004>
- Morgan, D.W., Martin, P. E & Krahenbuhl (1989). Factors affecting running economy (1989). *Sports Medicine.* 7: 310-330. <https://doi.org/10.2165/00007256-198907050-00003>
- Morgan, D.W., Bransford, D.R., Costill, D.L., Daniels, J.T., Howley, E.T. & Krahenbull, G.S. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* (27), 404–409. PMID: 7752868
- Nikolaidis, P. T., Dellal, A., Torres-Luque, G & Ingebrigtsen, J. (2015). Determinants of acceleration and maximum speed phase of repeated sprint ability in soccer players: a cross-sectional study. *Science & Sports.* 30(1):e7-e16.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2014.05.003>
- Powers, S., Lawler, J., Dempsey, J., Dodd, S., & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂ max. *Journal of applied physiology.* 66(6), ss. 2491-2495. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.6.2491>
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R & Impellizzeri, F. M (2007). Variation in Top Level Soccer Match Performance. *Int J Sports Med.* 28(12): 1018-1024.
<https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>

- Rampinini, E., Bosia, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Medicine & science in sports & exercise*. 43(11): 2161-2170, 2011. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821e9c5c>
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci*. 15(3):257-63.
<https://doi.org/10.1080/026404197367263>
- Reilly, T & Ball, D. (1984). The Net Physiological Cost of Dribbling a Soccer Ball. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. v55 n3 p267-71
<https://doi.org/10.1080/02701367.1984.10609363>
- Rivilla-García, J., Calvo, Luis C., Jiménez-Rubio, S., Paredes-Hernández, V., Muñoz, A., Tillaar, R. V. D & Navandar, A. (2019). Characteristics of Very High Intensity Runs of Soccer Players in Relation to Their Playing Position and Playing Half in the 2013-14 Spanish La Liga Season. *Journal of Human Kinetics*. 66(1), 213–222.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0058>
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., and Jalilvand, F. (2016). Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: a brief review. *J. Strength Cond. Res*. 30, 1767–1785.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001245>
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*. 22(3):773-80.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5e86>
- Rösch, D., Hodgson, R., Peterson, T, L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., Dvorak, J. (2000). Assessment and evaluation of football performance. *Am J Sports Med*. 28(5 Suppl): S29-39. <https://doi.org/10.1177/28.suppl 5.s-29>
- Saltin, B. (1988). Capacity of blood flow delivery to exercising skeletal muscle in humans. *Am J Cardiol*. 62(8):30E-35E. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(88\)80007-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(88)80007-9)
- Sanders, G. J., Turner, Z., Boos, B., Peacock, C. A., Peveler, W & Lipping, A. (2017). Aerobic Capacity is Related to Repeated Sprint Ability with Sprint Distances Less Than 40 Meters. *Int J Exerc Sci*. 10(2):197-204. PMID: PMC5360375.

- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R & Hawley, J. A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*. 34(7):465-85.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Sandford, G., Kilding, A., Ross, A., & Laursen, P. (2019). Maximal Sprint Speed and the Anaerobic Speed Reserve Domain: The Untapped Tools that Differentiate the World's Best Male 800 m Runners. *Sports medicine. (Auckland, N.Z.)* 49(6), ss. 843- 852 DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1010-5>
- Scimgeour, a. G., Noakes, T.D., Adams, B., & Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 55(2):202-9. <https://doi.org/10.1007/BF00715006>
- Slawinski, J., Termoz, N., Rabita, G., Guilhem, G., Hadhri, S., Morin, J. B & Samozino, P. (2017). How 100-m Event Analyses Improve Our Understanding of World-Class Men's and Women's Sprint Performance. *Scand J Med Sci Sports*.
<https://doi.org/10.1111/sms.12627>
- Styles, W., Matthews, M., & Comfort, P. (2016). Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 30(6):1534-9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001243>
- Støa, E., Helgerud, J., Rønnstad, B., Hansen, J., Ellefsen, S., & Støren, Ø. (2020). Factors Influencing Running Velocity at Lactate Threshold in Male and Female Runners at Different Levels of Performance. *Frontiers in physiology*. 4;11.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.585267>
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*. 40(6), ss. 1087-1092 DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318168da2f>
- Støren, Ø., Helgerud, J., Sæbø, M., Støa, E., Bratland-Sanda, S., Unhjem R. J., Hoff, J & Wang, E. (2016). The Effect of Age on the VO₂max Response to High-Intensity Interval Training. *Med Sci Sports Exerc*. 49(1):78-85.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001070>

- Støren, Ø., Helgerud, J., Johansen, J., Gjerløw, L., Aamlid, A., & Støa, E. (2021). Aerobic and anaerobic speed predicts 800 meter running performance in young recreational runners. *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.672141>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer. *Sports Medicine*. 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Ortiz, J., Teixeira, A., Mohr, P., Do Nascimento Salvador, P., Cetolin, T., Guglielmo, L., & De Lucas, R. (2018). The anaerobic speed reserve of high-level soccer players: a comparison based on the running speed profile among and within playing positions. *Human Movement*. 19(5), ss. 65-72. <https://doi.org/10.5114/hm.2018.81287>
- Tomlin, D. L. & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med*. 31(1):1-11. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00001>
- Turnes, T., Aguiar, R. A. D., Cruz, R. S. D. O., & Caputo, F. (2016). Interval training in the boundaries of severe domain: effects on aerobic parameters. *Eur J Appl Physiol*. 116(1):161-9. Epub 2015 Sep 15.. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3263-0>
- Tønnessen, E., Madsen, Ø., Haugen, T., Hanne, S. (2019). *Arbeidskrav i idretten. Olympiatoppen*. https://www.olympiatoppen.no/fagstoff/treningsplanlegging/fagartikler/arbeidskrav_i_idretten/page1127.html
- Varley, M. & Aughey, R. (2012). Acceleration Profiles in Elite Australian Soccer. *International Journal of Sports Medicine*. 34(1), 34–39. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1316315>
- Wagner, P. (1996). A theoretical analysis of factors determining VO2 MAX at sea level and altitude. *Respiration physiology*. 106(3), ss. 329-343. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(96\)00086-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(96)00086-2)
- Wisløff, U., Helgerud, J., Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*. 30(3), 462-7. <https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00019>

Wisloff, U, Castagna, C, Helgerud, J, Jones, R, and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 38: 285– 288, 2004.

<https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>

Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Husle, M., Thomas, A & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 38(1):36-41. doi: 10.1136/bjism.2002.002352. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002352>

Wong, P. I., Chaouachi, A., Chamari, K., Dellal, A., & Wisloff, U. (2010). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 24(3):653-60.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aa36a2>

Yoshida, T. Watari H. (1993). Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *Eur J Appl Physiol.* 67:261-265.

<https://doi.org/10.1007/BF00864226>

Åstrand, P., Rodahl, K., Dahl, H., & Strømme, S. (2003). *Textbook of Work Physiology Physiological Bases of Exercise Fourth Edition.* Champaign: Human Kinetics.