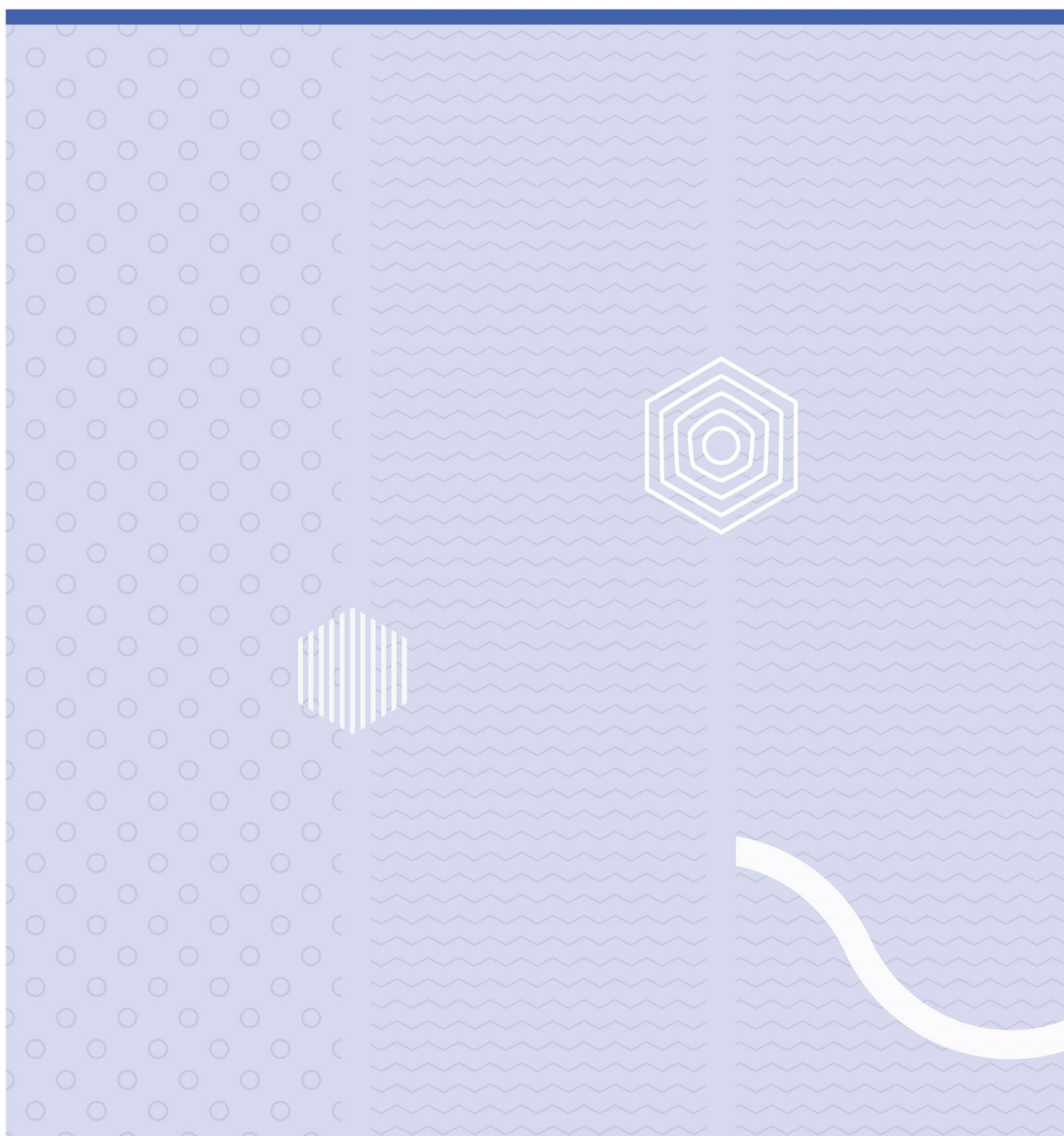


Daniel Kvamme

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

Kappe: Effektiv fysisk trening for prestasjonsevne i fotball



Universitetet i Sørøst-Norge
Fakultet for humaniora, idretts- og utdanningsvitenskap
Institutt for friluftsliv, idrett og kroppsøving

<http://www.usn.no>

© 2022 Daniel Kvamme

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

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 $VO_{2max} \cdot Cr^{-1}$, 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.

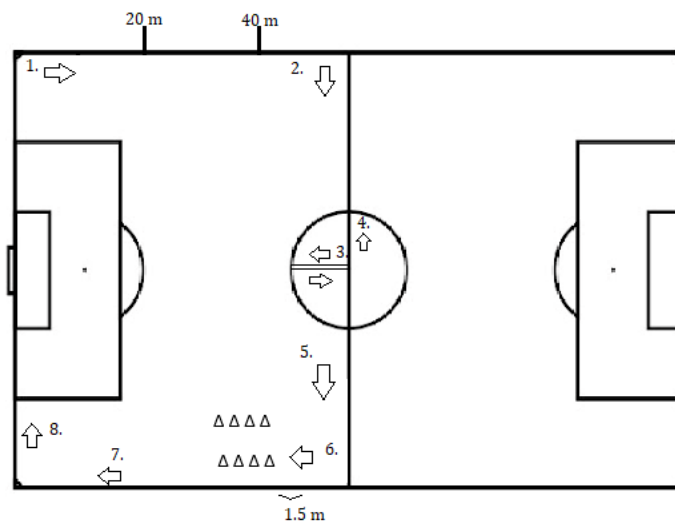
The incline on the treadmill was set to either 2- or 5% throughout the VO_{2max} test. The starting speed and incline were based on the subject's performance on the C_r test. After

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, Krusturup 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, Gjerløw 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.

Effektiv fysisk trening for prestasjonsevne i fotball

Kappe

Denne kappen følger artikkel "MAS and MANS predicts repeated sprint ability in youth soccer players" og må sees i sammenheng med den.

1.0 Fotballens fysiske krav

Prestasjon i fotball avhenger av individuelle ferdigheter og samspill mellom flere ulike spillere, innad i et fotballag (Stølen et al., 2005; Haugen et al., 2014; Bradley et al., 2016; Randell et al., 2021). Tekniske og taktiske ferdigheter anses å være dominerende faktorer, men den fysiske kapasiteten til en fotballspiller må også være godt utviklet for at spilleren skal kunne prestere på et høyt nivå (Stølen et al., 2005; Rampinini et al., 2007; Haugen et al., 2014; Loures et al., 2015).

En fotballspiller løper gjennomsnittlig mellom 8 og 12km per kamp, avhengig av posisjon på banen, og av aerob kapasitet (Wisløff et al., 2004). Studier viser at fotballspillere hadde 3,2% lavere maksimalt oksygenopptak (VO_{2max}) i årene 2000-2006 enn mellom 2006- 2012 (Tønnesen et al., 2013; Haugen et al., 2013; Silva et al., 2015), noe som indikerer stadig høyere krav til aerob kapasitet og bedre trening blant spillerne. Fotball synes altså å ha blitt en mer fysisk krevende sport over tid. Studier viser at midtbanespillere løper lengre per kamp enn forsvar- og angrepsspillere (Di Salvo et al., 2007; Lago et al., 2010). Di Salvo et al. (2007) viser likevel at midtstopperer og sentrale midtbanespillere har signifikant færre sprinter ($>23 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$) enn backer, vinger og angrepsspillere. Bloomfield et al. (2007) fant ut at midtbanespillere har signifikant flere vendinger enn forsvar og angrepsspillere. Reilly et al. (2000) viser at midtbanespillere og backer oftest har høyest VO_{2max} . Det kan tenkes at midtbanespillere gjennomfører flere kortere sprinter, og dermed ikke når opp i en hastighet på $>23 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$, som ofte regnes som nedre grense for hva som klassifiseres som sprint blant mannlige fotballspillere (Bradley et al., 2016).

Sprint på korte distanser (>20 meter) har blitt vist å være en av de mest avgjørende fysiske aksjoner for prestasjon i fotball (Nicholson et al., 2021). Fotballspillere som spiller på et høyere nivå, klarer bedre å opprettholde sin repeterte sprint evne (RSA), og generelt en høyere intensitet gjennom en hel kamp (Bangsbo et al., 2008; Impellizzeri et al., 2008).

Det blir i gjennomsnitt gjennomført en sprint hvert 60 til 90 sekund, hvor hver sprint gjennomsnittlig varer 2 til 4 sekunder (Wisløff et al., 2004; Vigne et al., 2010; Helgerud et al., 2011; Haugen et al., 2014). Hvor mye av den totale distansen som gjennomføres som sprint, varierer fra 1 til 11% (Wisløff et al., 2004; Little & Williams, 2005). Mohr et al. (2003) fant ut at elitespillere på det høyeste nivået gjennomfører flere sprinter enn spillere på lavere nivåer. Ingebrigtsen et al. (2012) viste at lag i bedre divisjoner sprinter opp til 25% mer i kamp enn lag i lavere divisjoner, selv om den samlede løpsdistanse uansett hastighet er tilnærmet lik. Bradley et al. (2009) viste at det var en signifikant forskjell i distanse dekket fra første- til andre-omgang. Også Vigne et al. (2010) viste en betydelig forskjell i distanse dekket per minutt for sprinter $>19 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ fra første til andreomgang, med klart flest i første omgang. Di Salvo et al. (2007) kunne også vise til en reduksjon i antall meter sprintet ($>19 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$) fra første til andreomgang, men den var imidlertid liten. Barnes et al. (2014) viste at antall sprinter økte med 30% i perioden fra 2006 til 2013 i toppdivisjonen i England, men at sprintene var blitt kortere i distanse.

Samsvaret i at økt aerob utholdenhet og antall sprinter har økt blant de beste spillerne i samme tidsperiode kan tyde på en sammenheng mellom aerob kapasitet og evne til å gjennomføre mange sprinter pr kamp. Denne antakelsen kan delvis understøttes av funn fra Mohr et al. (2003), som viste at en noe mer varig muskeltretthet oppsto på slutten av kamper, i motsetning til en mer kortvarig midlertidig muskeltretthet under kamper, uavhengig av konkurransestandard eller spillerposisjon. Mohr et al. (2005) foreslår at muskeltretthet ofte forekommer i slutten av en kamp på grunn av lav glykogenkonsentrasjon i flere muskelfibre. En mer midlertidig muskeltretthet kan skyldes redusert gjenoppbygging av aktuelle substratlagre for energiomsetningen i korte sprinter, altså redusert gjenoppbygging av kreatinfosfat (CrP) (Mohr et al., 2005). En mer varig muskeltretthet kan være alt fra reduserte karbohydratlagre, akkumulering av metabolitter i muskelfibre, til såkalt nevralt tretthet (Enoka & Duchateau, 2008). Mekanismene som forårsaker muskeltretthet, kan synes å være spesifikke for den gitte oppgaven som blir utført. Utvikling av muskeltretthet blir vanlig sett på som nedgang i muskelens maksimale kraft eller kraftkapasitet (Enoka & Duchateau, 2008). En studie gjort av Mendez-Villanueva et al. (2007) viser at ved gjentatt sprinttrening, selv etter en hvileperiode på 6 minutter, vil muskulær tretthet øke ved neste sprinttrening. Under repeterte sprintøvelser eller fotballkamp, har det blitt vist en gradvis manglende evne til

å reprodusere best mulig ytelse i påfølgende sprinter, altså en nedgang i sprinthastighet (Girard et al., 2011).

Fotballspillere er altså avhengige av å ha både god utholdenhet og høy toppfart for å prestere (Stølen et al., 2005; Buchheit et al., 2014; Loures et al. 2015). En fotballspillers aerobe kapasitet, målt som VO_{2max} har vist seg å være en bestemmende faktor for hvor mange repeterte sprinter som blir gjennomført i løpet av en kamp (Wisløff et al., 1998; Helgerud et al. 2001). Det blir påpekt av McMillan et al. (2005, b) og Wisløff et al. (1998) at gjennomsnittsverdien av maksimalt oksygenopptak (VO_{2max}) er høyere hos lag og spillere i bedre divisjoner. En fotballspillers toppfart vil kunne avgjøre om en spiller kommer vinnende eller tapende ut av en offensiv/defensiv sprintaksjon i en kampsituasjon (Little & Williams, 2005). Det vil derfor også være en fordel med høy toppfart for en fotballspiller (Andrzejewski et al., 2013).

1.1 Aerob utholdenhet

Aerob utholdenhets prestasjon er avhengig av tre elementer; VO_{2max} , laktatterskel og arbeidsøkonomi (C) (Pate & Kriska, 1984; Hoff et al., 2002). Der prestasjonen kan tenkes å øke med økende VO_{2max} eller LT, vil den øke med en synkende C, siden C betegner arbeidskostnaden målt i oksygenforbruk (Helgerud et al 2001; 2010; Støren et al., 2008; 2021). VO_{2max} reflekterer kapasiteten til det kardiovaskulære systemets evne til å levere oksygen til musklene (Riboli et al., 2021). VO_{2max} kan trolig påvirke restitusjonen mellom de krevende og kraftuttømmende høyintensive sprintene i en fotballkamp eller på trening (Helgerud et al., 2011; Baldi et al., 2017). Muskelglykogen reduseres med 40-90% under en kamp, og er sannsynligvis det viktigste substratet for energiproduksjon hele kampen sett under ett (Bangsbo et al., 2007). Muskeltretthet mot slutten av en kamp kan være relatert til uttømming av glykogen i enkelte muskelfibre (Bangsbo et al., 2007). CrP sikrer er rask transport av energi, der det behov for det (Bangsbo, 1994; Sand et al., 2016), altså ved eksempelvis korte sprinter, hopp, taklinger, osv. CrP-tilgjengelighet vil være viktig for å ha høy intensitet i sprinter i fotball (Bogdanis et al., 1996). Yoshida & Watari (1993) viste at utøvere med høy VO_{2max} hadde signifikant høyere verdier av CrP ett og to minutter etter maksimale sprinter, enn kontrollgruppen med lavere VO_{2max} . En høy VO_{2max} , og- eller en bedre C vil kunne redusere den relative intensiteten spilleren arbeider på mellom høyintensitetsaksjonene, og vil være avgjørende for hvor fort utøveren klarer å fylle CrP lagrene sine (Yoshida & Watari, 1993; Mujika et al., 2000; Mohr et al., 2005). Derfor kan

det tenkes at det vil være fordelaktig å ha en høy VO_{2max} som fotballspiller, for å kunne gjennomføre repeterte sprinter uten at sprinthastigheten avtar.

VO_{2max} blir definert som den høyeste hastigheten en person klarer å ta opp oksygen, og utnytte det i kroppen under høy intensitet (Bassett & Howley, 2000; Hoff et al., 2002). VO_{2max} er trenbart (Bassett & Howley, 2000, Helgerud et al., 2011). De fysiologiske faktorene som bestemmer VO_{2max} er; lungediffusjonskapasiteten, hjertets minuttvolum, den oksygenbærende kapasiteten i blodet og skjelettmusklenes evne til å ta opp og forbruke O_2 (Wagner, 1996; Bassett & Howley, 2000). De første tre faktorene klassifiseres som sentrale faktorer eller «supply», og den sistnevnte som perifere faktorer eller «demand» (Bassett & Howley, 2000). Dette innebærer at VO_{2max} bestemmes av supply og demand (Wagner, 1996), og kan uttrykkes i Ficks likning som produktet av minuttvolumet (Q) · AVO_2 -differansen (Åstrand & Rodahl, 2003; McArdle et al., 2015). Minuttvolumet er produktet av den lite trenbare maksimale hjertefrekvensen og av det høyst trenbare hjertets slagvolum, mens AVO_2 -differansen er bestemt av blodets transportkapasitet for O_2 , samt av musklenes aerobe energiomsetning, altså forbruk av O_2 . Sistnevnte er i høy grad avhengig av skjelettmusklenes mitokondrielle kapasitet (Wagner, 1996; McArdle et al., 2015).

Betydning av fotballspesifikk C kan være avgjørende for hvor fort en fotballspiller blir nevromuskulært trett i en kamp. I en fotballkamp må spillerne gjennomføre retningsforandringer, start-stop og tempo-økninger, noe som vil være en stor forskjell fra å løpe rett frem (Stevens et al., 2015). Stevens et al. (2015) fant ut at fotballspillere kunne forbedre den fotballspesifikke C bedre ved å løpe med retningsforandringer enn å løpe rett frem, når hastigheten ellers er lik. Det kan derfor tenkes at C kan ha en bestemmende faktor for fysiske prestasjoner på fotballbanen for en spiller. Fotballspillere løper gjennomsnittlig på 80-90% av HF_{max} , eller tett opp mot laktat terskel (LT) under en fotballkamp (Helgerud et al., 2011). LT har blitt definert som den høyeste intensiteten hvor det er balanse mellom laktat produksjon, og laktat eliminering (Brooks, 1986; Beneke, 2003; Støa et al., 2020). LT ligger vanligvis på en intensitet mellom 75-90% av VO_{2max} for utholdenhetsatleter (Joyner & Coyle, 2008; Støa et al., 2020). Det kan synes at VO_{2max} og C har mest å si for den aerobe utholdenhetsprestasjonen (Støa et al., 2020). McMillan et al. (2005, a) viser også til at VO_{2max} og C er de parameterne som først burde vurderes for fotballspilleres utholdenhet, før LT.

1.2 Toppfart

For at en spiller skal ha god kraftutviklingsevne, vil det være fordelaktig at spilleren kan utvikle mest mulig kraft, så hurtig som mulig i de gitte musklene (Aagaard et al., 2002; Rodríguez-Rosell et al., 2018). Faktorene som bestemmer hvor mye kraft som blir produsert i en muskel er; startposisjon, forlengelses- og forkorningshastighet, typer muskelfibre, antall motoriske enheter som er aktive samtidig, muskelens tverrsnittsareal og aktivering av motoriskenheter samt fyringsfrekvensen i disse (Behm & Sale, 1993; Hoff & Helgerud, 2004). Disse faktorene vil dermed være avgjørende for hvor hurtig fotballspilleren kan forflytte seg (Baldi et al., 2017). Faude et al. (2012) avslører at den mest dominerende handlingen som skjer rett før et mål blir scoret, er en sprint. Faude et al. (2012) påpeker derfor at kraftutvikling og evnen til å øke sprintfarten eller en retningsforandringer kan være med å avgjøre situasjoner i en fotballkamp. Hoff & Helgerud (2004) viser til store forskjeller i 1 repetisjon maksimum (1RM) i en 90° knebøy fra Champions League til Premier League nivå. Comfort et al. (2012) viser også til forbedring i kortsprintprestasjon ved høyere 1RM i knebøy. Det kan derfor tenkes at spillere på det høyeste nivå vil være de sterkeste i 1RM 90° knebøy, og dermed ha høyest toppfart og best til å gjennomføre retningsforandringer. Stor akselerasjon og høy toppfart kan gjøre at en spiller vinner en ball eller sprintduell. Denne type nevro-muskulære belastning gjentatt mange ganger kan imidlertid også raskt føre til muskeltretthet og øke potensiell skaderisiko under en kamp (Mendez-Villanueva et al., 2013; Buchheit et al., 2014).

1.3 Maksimal aerob- og anaerob hastighet, og anaerob sprintreserve

Mens aerob kapasitet gjerne måles og uttrykkes som VO_{2max} , kan aerob utholdenhet betegnes som produktet av VO_{2max} og C. Ved å dele VO_{2max} på C, får man uttrykt aerob utholdenhet som den maksimale aerobe hastigheten (MAS), som vist i bl.a. Helgerud et al. (2010) og Støren et al. (2021). Tilsvarende kan man tenke seg en maksimal anaerob hastighet (MANS) som da logisk vil være lik utøvers toppfart (Støren et al., 2021). MAS og MANS vil derfor være viktige fysiske faktorer for fysisk prestasjon i fotball. Differansen mellom MAS og MANS, enten uttrykt i absoluttverdier eller relative verdier (%MAS), blir gjerne betegnet anaerob sprintreserve (ASR) (Støren et al., 2021). I studien til Støren et al. (2021) fant man på løpere indikasjoner på at anaerob utholdenhet uttrykt som tid til utmattelse ved 130% av MAS, i hovedsak var et produkt av ASR. Mendez-Villanueva et al.

(2008) har framsatt en hypotese om at en lavere ASR vil kunne gi lavere grad av muskeltretthet, basert på en korrelasjon mellom ASR og muskulær tretthet.

Det er altså vist sammenhenger mellom antall eller distanse sprintet i kamp, og nivået på spiller, lag og divisjon (Wisløff et al., 2004; Di Salvo et al., 2007; Bloomfield et al., 2007; Vigne et al., 2010). Dermed kan det sannsynligvis være tre ulike fysiologiske forklaringsmodeller på evnen til å gjennomføre et høyt antall sprinter under kamp. Den første er en høy MANS, fordi en spiller med høy toppfart vil lettere kunne gjennomføre et løp klassifisert som sprint, dersom det trengs. Den andre er en høy MAS, dette vil kunne føre til at en ny sprint med samme hastighet og intensitet kan gjennomføres flere ganger. Den tredje er da logisk en kombinasjon av de to første. Et interessant spørsmål i denne sammenhengen vil da være hva som betyr mest av MAS og MANS under repeterte sprinter i en fotball-setting. Imidlertid kan det da synes om det er en manglende variabel her, nemlig anaerob utholdenhet. Basert på studie til Støren et al (2021), vil denne variabelen muligens heller kunne byttes ut med ASR.

I denne kappen som følger studien “MAS and MANS predicts repeated sprints ability in youth soccer players”, er derfor problemstillingen: «Hva er effektiv fysisk trening for prestasjonsevne i fotball?».

2.0 Teoretiske og metodiske betraktninger av funn i den foreliggende artikkelen

Hovedfunnene i den foreliggende artikkelen var en signifikant korrelasjon mellom $0.5 \text{ MAS} + 0.5 \text{ MANS}$ og gjennomsnittstid på repeterte 20meter sprinter ($r=0.813$, $p<0.01$). Det ble funnet en signifikant korrelasjon mellom MAS og gjennomsnittstid på repeterte 20meter sprinter ($r=0.76$, $p<0.01$). Det var en negativ korrelasjon mellom ASR og MAS ($r=-0.676$, $p<0.01$), og en positiv korrelasjon mellom ASR og MANS ($r=0.654$, $p<0.01$).

2.1 Samsvar mellom dette studiet og andre

Funnene i den foreliggende artikkelen, hvor MAS og MANS sammen hadde en signifikant korrelasjon på repeterte sprinter, samsvarer godt med funnene i andre studier (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2004; Wisløff et al., 2004; Chamari et al., 2005; Helgerud et al., 2011; Girard et al., 2011; Bogdanis et al., 2011). Meckel et al. (2009) viser til at utøver blir mer avhengig av en høy MAS, jo flere repeterte sprinter som skal gjennomføres. Dette samsvarer godt med funn i den foreliggende

artikkelen hvor MAS hadde signifikant korrelasjon mot gjennomsnittstid på 20 meter repeterte sprinter ($R=0.760$; $p<0.01$). Det kan tenkes at MAS ville hatt en enda større betydning, dersom testløypen hadde vart lengre enn 25 minutter. Tidligere studier ser på VO_{2max} mot repetert sprint evne (RSA) (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2004; Chamari et al., 2005; Helgerud et al., 2011; Girard et al., 2011; Bogdanis et al., 2011), i forhold til den foreliggende artikkelen som så på MAS, og ikke VO_{2max} alene mot RSA. MAS vil være avhengig av at det også måles C, da MAS jo er produktet av VO_{2max} delt på C (Stevens et al., 2015; Støren et al 2021), selv om ofte bare VO_{2max} har blitt målt på fotballspillere. Det kan derfor tenkes at funnene i de tidligere publiserte studier har noe forskjellige resultater enn funnene i den foreliggende artikkelen. Videre er det ingen fotballrelaterte studier som har brukt formelen $0.5 \text{ MAS} + 0.5 \text{ MANS}$ opp mot gjennomsnittstid på 20 meter repeterte sprinter, hvor deltakerne også gjennomfører en løype med og uten ball som aktiv pause. Det kan derfor bli vanskelig å sammenligne funnene i denne artikkelen med andre. Likevel gir det foreliggende studiet grunnlag for videre forskning mellom evne til å gjennomføre repeterte sprinter, MAS og MANS. I den foreliggende artikkelen var testpersonene amatør til halvprofesjonelle fotballspillere, noe som kan begrense generaliserbarheten opp til eksempelvis et profesjonelt nivå. Likevel er det ikke usannsynlig at sammenhengen mellom RSA og MAS og -eller MANS, vil være relativt nivåuavhengig.

Det ble funnet en positiv korrelasjon mellom ASR og MANS, samt negativ korrelasjonen mellom ASR og MAS i den foreliggende artikkelen. Dette samsvarer godt med studiene til Støren et al. (2021) og Ortiz et al. (2018), som fikk samme positive og negative korrelasjoner. Spillere med høy ASR vil derfor ha en utfordring med å opprettholde sin toppfart gjennom en hel fotballkamp. Det vil altså være optimalt å ha en lav ASR, dersom dette skyldes en høy MAS, og en høy ASR dersom denne skyldes en høy MANS (Ortiz et al., 2018; Støren et al 2021). Sandford et al. (2021) påpeker at det burde fokuseres på både MAS og MANS i treningen, for å ha større mulighet for høy fysisk prestasjon.

2.2 Metodisk betraktning

$VO_{2\text{maks}}$ og C ble testet på lab ved USN avd. Bø, som beskrevet i den foreliggende artikkelen. Den 15 · 20meter repeterte sprint løypen (RST) var selvdesignet for å finne svar på betydningen av MAS og MANS på repeterte sprinter for fotballspillere. Målet med 15 · 20meter RST var å simulere arbeidet i en fotballkamp, samtidig med lav skaderisiko og mulighet for standardisering og etterprøvbarehet. 15 · 20meter RST er i likhet med dribbeløypen til Hoff et al. (2002), designet med fotballrelaterte elementer som retningsforandring og ballføring. 15 · 20meter RST var totalt 3969m lang, hvor 300m var sprint. Det tilsvarer 25 til 30 minutter av en fotballkamp i distanse dekket (Wisløff et al., 2004; Di Salvo et al., 2010). Antall meter totalt dekket av 15 · 20meter RST kan være en svakhet, da deltakerne kanskje ikke oppnår like stor grad av muskulær tretthet som i en kamp (Mohr et al., 2003; 2005). Det vil samtidig være ugunstig å ha en lengre test, med tanke på skade, motivasjon og vilje til deltakelse. 15 · 20meter RST har færre retningsforandringer enn Hoff et al. (2002). Ved færre retningsforandringer i 15 · 20meter RST, kan det tenkes at C testet på mølle vil være mer relevant.

Ved bruk av ball i 15 · 20meter RST ville det tekniske aspektet ved fotball spille en stor rolle (Stølen et al., 2005). Piras et al. (2017) viste at det var 9,6% mer fysisk krevende å løpe på sub-maksimale hastigheter med ball, enn uten. 15 · 20meter RST ble derfor designet med færre fotballtekniske aspekter, for å ha hovedfokus på den fysiske delen av fotball. Likevel ble det gjennomført en kort dribbeløype på åtte kjepler, samt å føre ballen på en av kortsidene. Dette var i hovedsak for å få øke motivasjon, samt bringe inn litt av det tekniske aspektet i fotball.

Det blir gjennomført en sprint hver 60 til 90sekund i en fotballkamp (Wisløff et al., 2004; Vigne et al., 2010; Helgerud et al., 2011; Haugen et al., 2014). Ved at hver 20meter sprint skal gjennomføres hvert 100 sekund kan det tenkes at det kan trekkes paralleller mellom 15 · 20meter RST og en fotballkamp. Fotballspillerne som ble testet i dette prosjektet var amatør til semiprofesjonelle utøvere, og det kan tenkes at gjennomføringstiden per runde i 15 · 20meter RST burde vært på et sted mellom 60 til 90 sekunder dersom utøverne spilte på et høyere nivå. Ingen fotballkamper er like, og derfor vil det være vanskelig å gjennomføre en enkel fotballkamp som test.

Til videre studier kan det tenkes at det ville vært interessant å teste fotballspillere fra høyere divisjoner, med kortere tid til gjennomføring av 15 · 20meter RST. Det kan tenkes at videre studier burde bruke MAS, istedenfor VO_{2max} alene, da C er en viktig del av den totale aerobe utholdenhets kapasiteten.

3.0 Hvordan trene effektivt for bedre fysisk prestasjonsevne i fotball

Det fysiske aspektet i fotball, kan være med å avgjøre hvordan en spiller klarer å utføre det taktiske og tekniske (Stølen et al., 2005; Rampinini et al., 2007; Haugen et al., 2014). Fotballspillere og trenere ønsker å optimalisere treningen for å opprettholde eller forbedre en fotballspillers fysiske evner, uten å fremprovosere skader (Little & Williams, 2005). Det har blitt fastslått at utholdenhet vil være en grunnleggende kvalitet for en fotballspiller (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Stølen et al., 2005; Helgerud et al., 2011). Den aerobe kapasiteten er en viktig faktor for evne til restitusjon mellom sprinter (Bishop et al. 2011). Det finnes flere muligheter for å bedre den aerobe kapasiteten, likevel viser flere studer at å løpe intervaller på 90-95% av maksimal hjertefrekvens (HF_{max}) vil gi best effekt (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Ferrari-Bravo et al., 2008; Støren et al., 2017; Belegišanin, 2017). Helgerud et al. (2001) viste at ved å løpe fire perioder i oppoverbakke på 90-95% av HF_{max} i fire minutter, og med tre minutters aktiv pause hvor hjertefrekvensen aldri gikk under ca 70% av HF_{max} , økte VO_{2max} til utøverne med 11% over en ni ukers periode. Dette førte til at spillerne økte den totale distansen løpt med 20% og en 100% økning i antall sprinter gjennomført i en kamp (Helgerud et al., 2001). Ferrari-Bravo brukte også 4 · 4 minutters modellen med 90-95% av HF_{max} , som viste å gi en økning av den aerobe utholdenheten til utøverne i studiet. Studiet til McMillan et al. (2005, b) viste at VO_{2max} også kunne økes ved bruk av dribbeløype, og Hoff et al. (2002) foreslår i tillegg småbanespill med 3 mot 3. I disse noe mer fotballspesifikke treningsformene anbefales det også en intensitet på 90-95% av HF_{max} (Hoff et al., 2002; McMillan et al., 2005, b). Alizadeh et al. (2010) viser til at fotballspillere burde trene mest sprint intervaller, fordi rytmen og bevegelseshastigheten i en fotballkamp har blitt raskere med årene. Likevel vil det nok være en fordel å ha høy MAS for å kunne gjennomføre flere repeterte sprint intervaller med høy nok intensitet eller fart, som blant annet vist i artikkelen denne kappen følger. Repeterte sprintintervaller vil dermed ideelt sett enten gjennomføres med svært lange pauser for å stimulere økning i MANS, eller i et

høyt antall og med svært korte pauser for å stimulere økning i MAS. Et eksempel på det siste er vist i Helgerud et al. (2007), der 47 · 15 sekunder sprint og 15 sekunder aktiv pause ga omtrent like god effekt på VO_{2max} som 4 · 4 minutter. I Helgerud et al. (2007) ble intervallene gjennomført på 90-95% av HF_{max} , og den aktive pausen på 15 sekunder var aldri under 70% av HF_{max} . Fellesnevneren for alle disse forskjellige metodene for å øke utholdenheten til en fotballspiller, virker å være å gjennomføre økten med høy aerob intensitet. Høy intensitets intervall trening (HIIT) vil altså være det foretrukne alternativet for å øke VO_{2max} , uten at en spiller må løpe i flere timer på sub-maksimale hastigheter.

Samtidig som utholdenhet er en essensiell egenskap i fotball, vil styrke og evne til kraftutvikling være vel så viktig for å kunne prestere fysisk bra i fotball (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005). Både sett i relasjon til MANS, men også sett i forhold til å vinne hodedueller, gjennomføre suksessfulle taklinger, etc. (Stølen et al., 2005; Rampinini et al., 2007; Haugen et al., 2014; Loures et al., 2015). Å trene plyometrisk, hvor utøvere gjennomfører flere eksplosive repetisjoner med kun kroppsvekt, blir ofte brukt for å forbedre styrke, hurtighet og spenst (Markovic & Mikulic, 2010; Slimani et al., 2016). Rønnestad et al. (2008) implementerte plyometrisk trening sammen med maksimal styrketrening (MST) for en gruppe fotballspillere, men det utgjorde ikke en forskjell på MANS eller hopp høyde i forhold til gruppen som kun trente MST. Det kan tenkes at fotballspillerne utøvde tilstrekkelig med eksplosive øvelser i fotballtreningene, og dermed ble den plyometriske treningen kun overflødig volum. Helgerud et al. (2011) viste at ved å trene 4 · 4RM med 90° knebøy, økte styrken til fotballspillerne betraktelig, noe som videre førte til økt topphastighet i sprint. Wisløff et al. (2004) og Hoff et al. (2005) fremhever at fotballspillere bør trene MST med fokus på maksimal mobilisering i den konsentriske fasen av løftet i 90° knebøy for å forbedre sprinthastigheten. Det kan derfor tenkes at det bør legges et stort fokus blant trenere og spillere i fotballen på MST med fokus på maksimal mobilisering i konsentrisk fase, for å bedre hopp høyde og MANS. Behm & Sale (1993) påpeker at det ikke nødvendigvis må trenes med høy bevegelseshastighet, så lenge øvelsen gjennomføres med maksimal mobilisering. MST kan i tillegg til å forbedre MANS, også bidra til en økt MAS. Støren et al. (2008) viste at MST forbedret C hos langdistanseløpere. Det kan absolutt tenkes at fotballspillere også vil kunne forbedre sin C ved MST. Mujika et al. (2009) foreslår at spillerne trener på 90% av 1RM i 90° knebøy i

den forberedende delen før sesongstart, og 15-50% av kroppsvekt i sesong, men da med større hastighet på løftene.

Dupont et al. (2004) argumenterer for at det er fullt mulig å øke den fysiske kapasiteten i sesong, men at den fysiske kapasiteten alene ikke vil være den bestemmende faktoren for prestasjon i fotball. Det vil fortsatt være det tekniske og taktiske som avgjør, men at den fysiske kapasiteten til en fotballspiller vil ha en stor betydning om spilleren klarer å gjennomføre det tekniske og taktiske (Dupont et al., 2004). Styles et al. (2016) viser at fotballspillere bør trene MST for å øke sin sprint evne, spesielt for å øke sprint evnen på sprinter under 20 meter. I følge Nikolaidis et al. (2015) vil 90° knebøy vil være en smart øvelse for å øke akselerasjonen til en fotballspiller, mens Maio Alves et al. (2010) påpeker at det vil være fordelaktig å kombinere styrketrening og fotballrelaterte bevegelser, for å bedre sprint og muskelstyrke. Silva et al. (2015) påpeker at trening for å bedre neuromuskulær funksjon i kombinasjon med fotballspesifikk utholdenhet øker prestasjon i fotball.

I en sport som fotball kan det være marginale forskjeller som avgjør en kamp, eksempelvis om å sprinte hurtig eller ha utholdenhet til å fullføre en offensiv/defensiv handling. Fessi et al. (2016) foreslår å ha en høy treningsintensitet for både styrke og utholdenhet i forberedelsesperioden før sesong, da det kan føre til økt fysisk kapasitet i sesongen. Dette samsvarer godt med Sandford et al. (2021), hvor det påpekes at det bør fokuseres på både MAS og MANS i treningen for best mulig prestasjon. Stølen et al. (2005) viser til at det vil være hensiktsmessig å trene både utholdenhet og styrke, uavhengig av spillerposisjon på banen. Di Salvo et al. (2007) legger frem at det stilles forskjellige krav til hvilken posisjon en spiller har. Det ble funnet signifikante forskjeller i distanse dekket mellom midtbanespillere mot forsvar- eller angrepspillere (Di Salvo et al., 2007). Det var signifikante forskjeller på antall meter sprintet hvor hastigheten var $>23 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ mellom de sentrale spillerne (sentral midtbane og midtstopper) og de utvendige spillerne (back og ving) (Di Salvo et al., 2007; Bradley et al., 2016; Abbott et al., 2018). Sentrale midtbanespillere er de som gjennomsnittlig gjennomfører flest retningsforandringer pr kamp (Di Salvo et al., 2007). Sporis et al. (2010) argumenterer for at det burde brukes forskjellige testmetoder mellom forsvar, midtbane og angrep for å teste spillernes evne til retningsforandring. Dette kan føre til store feilkilder, da backer og vinger viser til bevegelses forskjeller fra sentrale spillere (Di Salvo et al., 2007; Sporis et al., 2010; Dalen

et al., 2016). Det kan tenkes at det kan være en fordel å eventuelt dele opp spillergruppen i sentrale og kant-spillere istedenfor forsvar, midtbane og angrep. Samtidig kan det å legge opp individuelle treningsoppsett muligens gi best resultater. Spesialisering og individualisering av treningsprogram vil kunne være smart i forhold til spillerposisjoner (Dalen et al., 2016), på den annen side er det liten grunn til å anta at trening for å øke MAS eller MANS vil gi ulik effekt på spillere grunnet hvilken posisjon de spiller.

Helgerud et al. (2001) viste at forbedring av VO_{2max} ikke hadde en negativ innvirkning på sprinthastighet. Funn fra tidligere studier tatt i betraktning, kan det likevel tenkes at alle fotballspillere uavhengig av posisjon på banen burde trene maksimal styrke med maksimal mobilisering og utholdenhetstrening hvor HF_{max} er rundt 90-95% (Helgerud et al., 2001; Wisløff et al., 2004; Hoff & Helgerud, 2004; Hoff et al., 2005; Helgerud et al., 2007; Helgerud et al., 2011; Belegišanin, 2017). Videre kan det tenkes at ved å trene på retningsforandringer i form av en løype, eksempelvis T-test (Raya et al., 2013) vil bedre den fotballspesifikke C, som vist i Stevens et al. (2015). Imidlertid kan det også tenkes at retningsforandringer trenes best ved å spille fotball.

4.0 Praktiske implikasjoner –effektiv fysisk trening for prestasjonsevne i fotball

Betydningen av maksimal aerob hastighet (MAS) og maksimal anaerob hastighet (MANS) for fotballspillere til å prestere på repeterte sprinter ble vist i den foreliggende artikkelen. En naturlig konsekvens av dette funnet vil da være å trene for å øke MAS og MANS mest mulig, for å gi spillerne størst mulig forutsetninger for prestasjon.

4.1 Forbedring av MAS

For å forbedre MAS vil det være fordelaktig at utøver trener en form for utholdenhet, med 90-95% i HF_{max} . Hoff & Helgerud (2004) sier at intensiteten på et intervall med 90-95% av HF_{max} , burde ha en varighet på et sted mellom 3 til 8 minutter. Dette kan gjøres ved bruk av forskjellige intervall-modeller, både med og uten ball. Intervallene uten ball kan eksempelvis være; 40 til 50 · 15+15sekunder eller 4 · 4minutter som vist i Helgerud et al. (2001; 2007). Eksempler med ball kan være; 3 mot 3 småspill på liten bane eller en dribbeløype som for eksempel vist i Hoff et al. (2002). En form for HIIT vil derfor være å anbefale for å forbedre MAS.

Det kan tenkes at det er enklere å kontrollere progresjon ved bruk av intervaller uten ball på mølle innendørs, da det er mer brukervennlig for å regulere tempo. Likevel kan dribbleløyper og småspill på liten bane gi økt motivasjon, som kan føre til at utøverne trener lengre og muligens økt intensitet. Det kan tenkes at en kombinasjon vil være optimalt for en utøver med fotball som idrett.

4.2 Forbedring av MANS

Det vil være fordelaktig å trene MST for å forbedre MANS. Hoff & Helgerud (2004) viser at det burde trenes med minst 85% av 1RM, og maksimal kraftutvikling i den konsentriske fasen for å øke eksplosivitet i en sprint. Ved gjennomføring av MST vil utøver mobilisere maksimalt, og dermed få mest ut av hver treningsøkt. Det vil være viktig med progressiv økning, for å forbedre både det muskulære og nevralt aspektet for kraftutvikling. Det kan eksempelvis gjøres med 90° knebøy, hvor utøver trener 4 · 4RM, for å garantere maksimal mobilisering. Nikolaidis et al. (2015) foreslår også at skrittfrekvensøvelser med stor eksplosivitet kan forbedre MANS. Det vil i så fall være ekstremt viktig at utøveren gjennomfører skrittfrekvensøvelsene med maksimal konsentrasjon og vilje, slik at utøveren mobiliserer maksimalt. Ved å gjennomføre flere korte sprintintervaller med lange pauser, er det ikke overaskende vist at spesifikk sprinttrening kan øke MANS (Lockie et al., 2012; Rumpf et al., 2016).

5.0 Referanseliste

1. Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N.J. (2018). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2), 285-295. <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.132.04>
2. Alizadeh, R., Hovanloo, F., & Safania, A. M. (2010). The relationship between aerobic power and repeated sprint ability in young soccer players with different levels of VO² max. *Journal of Physical Education and Sport*, 27(2), Art 28, 86-92.
3. Andrzejewski, M., Chmura, J., Pluta, B., Strzelczyk, R., & Kasprzak, A. (2013). Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 27(8), 2134–2140. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318279423e>
4. Baldi, M., DA Silva, J. F., Buzzachera, C. F., Castagna, C., & Guglielmo, L. G. (2017). 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>
5. Bangsbo J. (1994). Energy demands in competitive soccer. *Journal of sports sciences*, 12 Spec No, S5–S12.
6. Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I., & Wisløff, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British journal of sports medicine*, 39(1), 24–28. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.009985>
7. Comfort, P., Haigh, A., & Matthews, M. J. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players?. *Journal of strength and conditioning research*, 26(3), 772–776. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822a5cbf>
8. Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International journal of sports physiology and performance*, 2(2), 111–127. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2.2.111>
9. Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(1), 37–51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>

10. 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), 1095–1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
11. Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
12. Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 15(6), 374–388. <https://doi.org/10.2165/00007256-199315060-00003>
13. Belegišanin, B. (2017). Effects of high-intensity interval training on aerobic fitness in elite Serbian soccer players. *Exercise and Quality of Life*, 9(2), 13-17. <https://doi.org/10.31382/eqol.171202>
14. Beneke R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European journal of applied physiology*, 89(1), 95–99. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0783-1>
15. Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(9), 741–756. <https://doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000>
16. Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *Journal of sports science & medicine*, 6(1), 63–70.
17. Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 80(3), 876–884. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.876>
18. Bradley, P. S., Archer, D. T., Hogg, B., Schuth, G., Bush, M., Carling, C., & Barnes, C. (2016). 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. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1082614>

19. 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>
20. Brooks, G. A. (1986). Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. *Fed. Proc.* 45, 2924–2929.
21. Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1906–1913. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.965191>
22. Dalen, T., Ingebrigtsen, J., Ettema, G., Hjelde, G. H., & Wisløff, U. (2016). Player Load, Acceleration, and Deceleration During Forty-Five Competitive Matches of Elite Soccer. *Journal of strength and conditioning research*, 30(2), 351–359. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001063>
23. Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
24. Dupont, G., Akakpo, K., & Berthoin, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 584–589. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<584:TEOIH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<584:TEOIH>2.0.CO;2)
25. Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of physiology*, 586(1), 11–23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
26. Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of sports sciences*, 30(7), 625–631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
27. Ferrari Bravo, D., Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., & Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International journal of sports medicine*, 29(8), 668–674. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989371>

28. Fessi, M. S., Zarrouk, N., Filetti, C., Rebai, H., Elloumi, M., & Moalla, W. (2016). Physical and anthropometric changes during pre- and in-season in professional soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 56(10), 1163–1170.
29. Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(8), 673–694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
30. Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995-2010. *International journal of sports physiology and performance*, 8(2), 148–156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.148>
31. 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), 432–441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0121>
30. Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International journal of sports medicine*, 32(9), 677–682. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275742>
33. Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(11), 1925–1931. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019>
34. Helgerud, J., Støren, O., & Hoff, J. (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners?. *European journal of applied physiology*, 108(6), 1099–1105. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1218-z>
35. Hoff J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of sports sciences*, 23(6), 573–582. <https://doi.org/10.1080/02640410400021252>
36. Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(3), 165–180. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434030-00003>
37. Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British journal of sports medicine*, 36(3), 218–221. <https://doi.org/10.1136/bjism.36.3.218>

38. Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., Ferrari Bravo, D., Tibaudi, A., & Wisloff, U. (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *International journal of sports medicine*, 29(11), 899–905.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1038491>
39. Ingebrigtsen, J., Bendiksen, M., Randers, M. B., Castagna, C., Krusturup, P., & Holtermann, A. (2012). Yo-Yo IR2 testing of elite and sub-elite soccer players: performance, heart rate response and correlations to other interval tests. *Journal of sports sciences*, 30(13), 1337–1345.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711484>
40. Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35–44.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
41. Lago, C., Casais, L., Dominguez, E., & Sampaio J. (2010) The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *European Journal of sport science*, 10(2), 103-109. <https://doi.org/10.1080/17461390903273994>
42. Little, T., & Williams, A. G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 19(1), 76–78. <https://doi.org/10.1519/14253.1>
43. Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 26(6), 1539–1550.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e8a0>
44. Loures, J. P., Chamari, K., Ferreira, E. C., Campos, E. Z., Zagatto, A. M., Milioni, F., da Silva, A. S., & Papoti, M. (2015). Specific determination of maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 29(1), 101–106. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000621>
45. Maio Alves, J. M., Rebelo, A. N., Abrantes, C., & Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *Journal of strength and conditioning research*, 24(4), 936–941.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7c5fd>

46. Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(10), 859–895. <https://doi.org/10.2165/11318370-000000000-00000>
47. McArdle, W. D., Katch, F. L. & Katch V. L. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, energy, and human performance* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
48. McMillan, K., Helgerud, J., Grant, S. J., Newell, J., Wilson, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005), a. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *British journal of sports medicine*, 39(7), 432–436. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.012260>
49. McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005), b. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British journal of sports medicine*, 39(5), 273–277. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.012526>
50. 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*, 23(1), 163–169. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b9651>
51. Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International journal of sports medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>
52. Mendez-Villanueva, A., Hamer, P., & Bishop, D. (2007). Physical fitness and performance. Fatigue responses during repeated sprints matched for initial mechanical output. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(12), 2219–2225. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815669dc>
53. Mendez-Villanueva, A., Hamer, P., & Bishop, D. (2008). Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *European journal of applied physiology*, 103(4), 411–419. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0723-9>
54. Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>

55. Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *Journal of sports sciences*, 23(6), 593–599.
<https://doi.org/10.1080/02640410400021286>
56. Mujika, I., Padilla, S., Ibañez, J., Izquierdo, M., & Gorostiaga, E. (2000). Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(2), 518–525. <https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00039>
57. Mujika, I., Santisteban, J., & Castagna, C. (2009). In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(9), 2581–2587.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc1aac>
58. Nicholson, B., Dinsdale, A., Jones, B., & Till, K. (2021). The Training of Short Distance Sprint Performance in Football Code Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(6), 1179–1207.
<https://doi.org/10.1007/s40279-020-01372-y>
59. 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.
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.05.003>
60. Ortiz, J., Teixeira, A., Mohr, P., Do Nascimento Salvador, P., Cetolin, T., & Guglielmo, L. et al. (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 Special Issues*, 65-72.
<https://doi.org/10.5114/hm.2018.81287>
61. Pate R. R & Kriska A. (1984) Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Medicine*; 1:87-98.
62. Piras, A., Raffi, M., Atmatzidis, C., Merni, F., & Di Michele, R. (2017). The Energy Cost of Running with the Ball in Soccer. *International journal of sports medicine*, 38(12), 877–822. <https://doi.org/10.1055/s-0043-118340>
63. Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International journal of sports medicine*, 28(12), 1018–1024. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>

64. Rampinini, E., Sassi, A., Morelli, A., Mazzoni, S., Fanchini, M., & Coutts, A. J. (2009). Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 34(6), 1048–1054. <https://doi.org/10.1139/H09-111>
65. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
66. Randell, R. K., Clifford, T., Drust, B., Moss, S. L., Unnithan, V. B., De Ste Croix, M., Datson, N., Martin, D., Mayho, H., Carter, J. M., & Rollo, I. (2021). Physiological Characteristics of Female Soccer Players and Health and Performance Considerations: A Narrative Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(7), 1377–1399. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01458-1>
67. Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of sports sciences*, 18(9), 669–683. <https://doi.org/10.1080/02640410050120050>
68. Riboli, A., Coratella, G., Rampichini, S., Limonta, E., & Esposito, F. (2021). Testing protocol affects the velocity at VO₂max in semi-professional soccer players. *Research in sports medicine (Print)*, 1–11. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1878460>
69. Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., & González-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical physiology and functional imaging*, 38(5), 743–762. <https://doi.org/10.1111/cpf.12495>
70. Ronnestad, 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. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3), 773–780. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5e86>
71. Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *Journal of strength and conditioning research*, 30(6), 1767–1785. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001245>

72. Sand, O., Sjaastad, Ø. V. & Haug, E. (2016). *Menneskets fysiologi* (2. utg.). Oslo: Gyldendal Akademisk
73. Sandford, G. N., Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2021). Anaerobic Speed/Power Reserve and Sport Performance: Scientific Basis, Current Applications and Future Directions. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(10), 2017–2028. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01523-9>
74. Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports medicine - open*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0006-z>
75. Slimani, M., Chamari, K., Miarka, B., Del Vecchio, F. B., & Chéour, F. (2016). Effects of Plyometric Training on Physical Fitness in Team Sport Athletes: A Systematic Review. *Journal of human kinetics*, 53, 231–247. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0026>
76. Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L., & Vucetic, V. (2010). Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(3), 679–686. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c4d324>
77. Stevens, T. G., De Ruyter, C. J., Van Maurik, D., Van Lierop, C. J., Savelsbergh, G. J., & Beek, P. J. (2015). Measured and estimated energy cost of constant and shuttle running in soccer players. *Medicine and science in sports and exercise*, 47(6), 1219–1224. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000515>
78. Styles, W. J., Matthews, M. J., & Comfort, P. (2016). Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(6), 1534–1539. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001243>
79. Støa, E. M., Helgerud, J., Rønnestad, B. R., 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*, 11, 585267. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.585267>
80. Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>

81. Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087–1092.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>
82. Støren, Ø., Helgerud, J., Johansen, J. M., Gjerløw, L. E., Aamlid, A., & Støa, E. M. (2021). Aerobic and Anaerobic Speed Predicts 800-m Running Performance in Young Recreational Runners. *Frontiers in physiology*, 12, 672141.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.672141>
83. Støren, Ø., Helgerud, J., Sæbø, M., Støa, E. M., Bratland-Sanda, S., Unhjem, R. J., Hoff, J., & Wang, E. (2017). The Effect of Age on the V̇O₂max Response to High-Intensity Interval Training. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(1), 78–85. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001070>
84. Thomas, K., French, D., & Hayes, P. R. (2009). The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(1), 332–335.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318183a01a>
85. Tønnessen, E., Hem, E., Leirstein, S., Haugen, T., & Seiler, S. (2013). Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *International journal of sports physiology and performance*, 8(3), 323–329.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.8.3.323>
86. Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International journal of sports medicine*, 31(5), 304–310. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248320>
87. Wagner P. D. (1996). A theoretical analysis of factors determining VO₂ MAX at sea level and altitude. *Respiration physiology*, 106(3), 329–343.
[https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(96\)00086-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(96)00086-2)
88. Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British journal of sports medicine*, 38(3), 285–288.
<https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>
89. Wisløff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(3), 462–467.
<https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00019>

90. Yoshida, T., & Watari, H. (1993). Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 67(3), 261–265. <https://doi.org/10.1007/BF00864226>
91. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 93(4), 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
92. Åstrand, P., & Rodahl, K. (2003). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise* (4th ed.). Champaign, Ill: Human Kinetics.