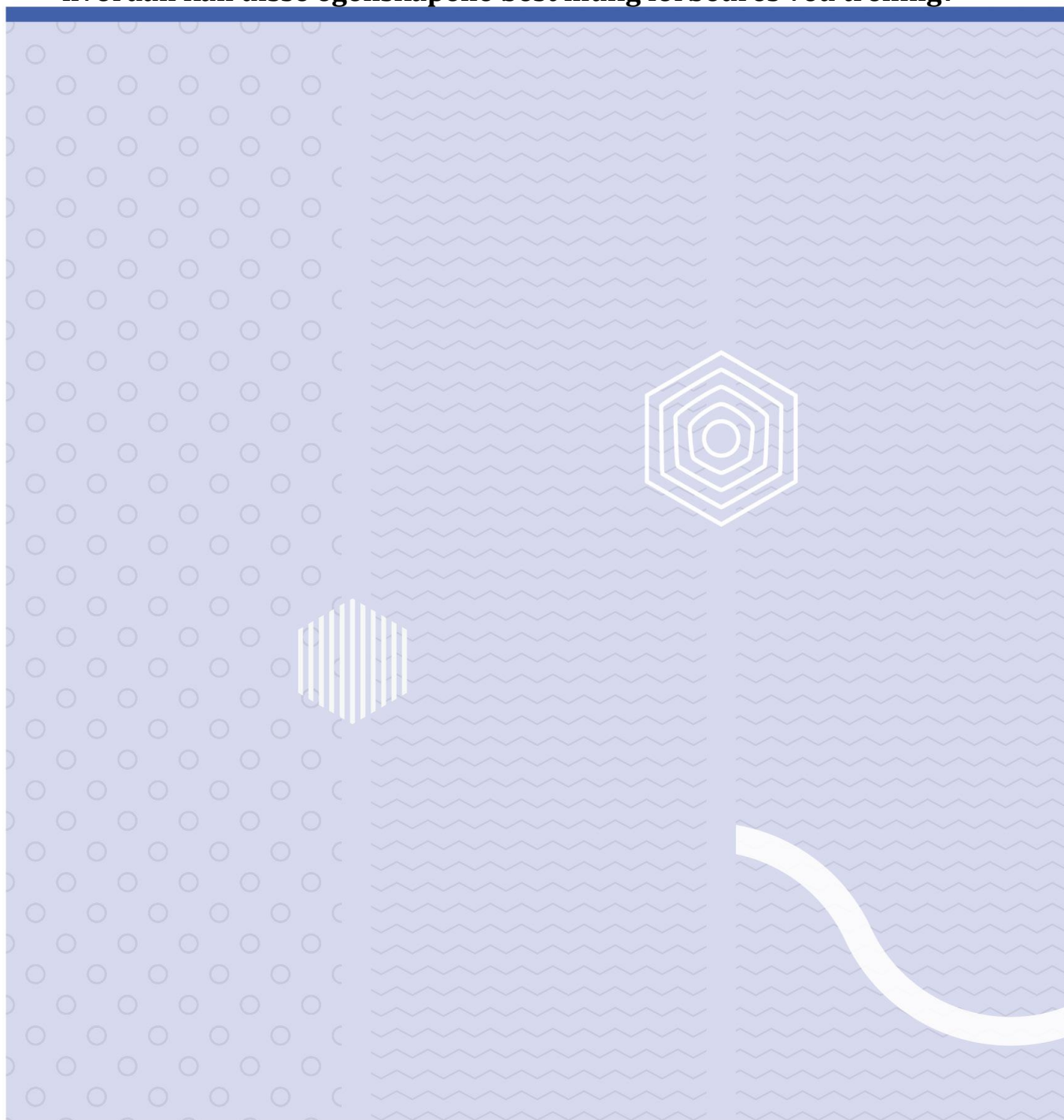


Henrik Rømo Rognhaug

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

Kappe: Effekt av MAS og MANS på repeterte sprinter i fotball; og hvordan kan disse egenskapene best mulig forbedres ved trening?



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.

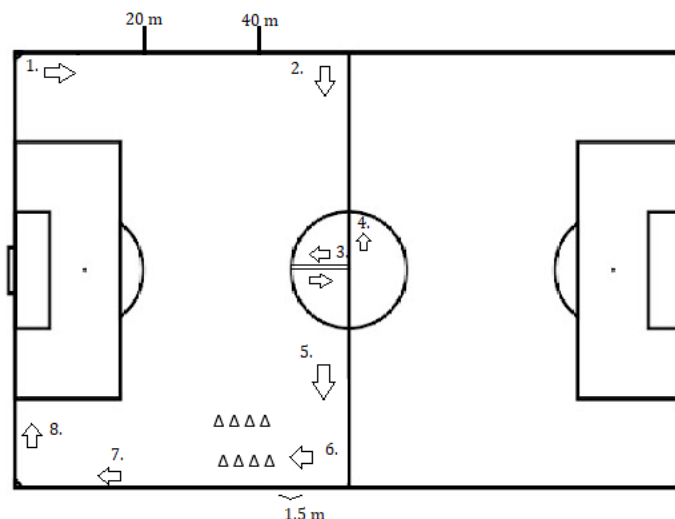
The incline on the treadmill was set to either 2- or 5% throughout the VO_{2max} test. The starting speed and incline were based on the subject's performance on the C_r test. After

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 0.5MAS + 0.5MANS, 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.

Kappe

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

Sentrale forkortelser

MAS	Maksimal aerob hastighet
MANS	Maksimal anaerob hastighet
MS	Meter sprintet
RS	Repeterte sprinter
RSA	Repetert sprint evne
VO ₂	Oksygenopptak
VO _{2max}	Maksimalt oksygenopptak
C	Oksygenkostnad
Min	Minutter
LT	Laktatterskel
HF	Hjertefrekvens
HF _{max}	Maksimal hjertefrekvens
HL	Høyintensivløp
Km	Kilometer
sek	Sekunder
AS	Antall sprinter
O ₂	Oksygen
CO ₂	Karbondioksid
MV	Minuttvolum
SV	Slagvolum
Ca ⁺⁺	Kalsium
PCr	Kreatinfosfat
ATP	Adenosintrifosfat
ASR	Anaerob sprint reserve
RST	Repeated sprint track
1RM	En repetisjon maksimum

CMJ	Counter movement jump
DJ	Drop jump
SJ	Squat jump
MST	Maksimal styrketrening
HIIT	Høyintensitet intervall trening
vVO _{2max}	Fart av VO _{2max}

Innledning

Er man god til å dribble, skyte og sende pasninger, blir man lett sett på som en god fotballspiller. Den fysiske faktoren for suksess spiller allikevel en viktig rolle i et høyt nivå (Ingebrigtsen et al., 2011), både som en forutsetning for å være god teknisk, og for å muliggjøre det arbeid som kreves med tanke på forflytninger gjennom en kamp. En fotballspillers fysikk kan forenklet sies å utgjøre $\frac{1}{3}$ av den totale fotballprestasjon, hvor de resterende $\frac{2}{3}$ utgjøres av teknikk og taktikk, inkludert spilleforståelse (Hoff, 2005; Modric et al., 2020). Tidligere studier har ved bruk av enten videoanalyse eller posisjoneringssystemer vist at gode spillere og gode klubber, skiller seg fra de mindre gode ved flere repeterte sprinter (RS), flere meter sprintet (MS) og høyere gjennomsnittsfart på sprintene gjennom en kamp (Mohr et al., 2008; Andersson et al., 2010; Gregson et al., 2010; Di Salvo et al., 2012; Ingebrigtsen et al., 2015). I stand til å opprettholde en repetert sprint evne (RSA) synes derfor å være en viktig prestasjonsvariabel i fotball (Seitz et al., 2014). En høyintensitetsaksjon som sprint kan være en avgjørende faktor for resultatet av kampen, ved at den fører til mål eller forhindrer mål (Faude et al., 2012). Å finne den beste treningen for RSA vil av den grunn være viktig med tanke på å heve prestasjonsnivået i kamp. Logisk sett vil gjennomsnittsfarten i RSA bestemmes dels av den maksimale anaerobe hastigheten (MANS), og av hvor mye MANS synker fra sprint til sprint, teoretisk påvirket av maksimal aerob hastighet (MAS). Studien denne kappen følger, viste betydningen av høy MAS og høy MANS for RSA i fotball. Disse funnene er i større eller mindre grad i samsvar med tidligere studier (Helgerud et al., 2001; Wisløff et al., 2004; Hoff, 2005; Rønnestad et al., 2008; Di Salvo et al., 2010; Helgerud et al., 2011; Ziogas et al., 2011; Jones et al., 2013; Haugen et al., 2014; Sanders et al., 2017; Dolci et al., 2018), selv om den

foreliggende studien er den første vedrørende fotball til å bruke begge de fysiologiske egenskapene uttrykt som hastigheter (MAS og MANS). Tidligere forskning har eksempelvis sett på maksimalt oksygenopptak ($VO_{2\text{maks}}$) sin betydning på RSA (Aziz et al., 2000; Da Silva et al., 2010; Jones et al., 2013; Gharbi et al., 2015; Sanders et al., 2017). Grad av sammenheng mellom $VO_{2\text{maks}}$ og prestasjon i RSA spriker imidlertid mellom de nevnte studiene. Få studier hadde sett på betydningen av MANS på RSA, selv om flere studier har inkludert MANS som en viktig prestasjonsbestemmende faktor i fotball (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005; Rønnestad et al., 2008; Bradley et al., 2010). Det har tidligere blitt vist at arbeidsøkonomi målt som oksygenkostnad (C) er en prestasjonsfremmende faktor for utholdenhetsutøvere i henholdsvis løping (Conley & Krahenbuhl, 1980), ski (Johansen et al., 2020) og sykling (Swinnen et al., 2018). Det er på en annen side lite forskning på C hos fotballspillere, selv om C ble målt i Helgerud et al. (2001). Av den grunn var det spennende å se om både C og MANS ville ha en påvirkning på RSA. Siden MAS er produktet av $VO_{2\text{max}} \cdot C^{-1}$, var det nødvendig å måle C i den foreliggende studien.

Fotballens fysiske krav og egenart

En fotballkamp varer i 90 minutter (min), der kampens gjennomsnittlige intensitetsnivå hovedsakelig ligger på en tilsvarende laktatterskel (LT) (ca. 80-90% av maksimal hjertefrekvens (HF_{max})), med perioder av lavere intensitet og perioder med høyintensivløp (HL) og sprinter (Helgerud et al., 2001; Bangsbo et al., 2006; Ingebrigtsen et al., 2015). Distansen en fotballspiller tilbakelegger under en kamp ligger i gjennomsnitt mellom 8 - 12 km, blant annet avhengig av posisjon på banen (Helgerud et al., 2001; Mohr et al., 2003; Stølen et al., 2005). En fotballkamp har i gjennomsnitt 8-12% HL ($18\text{km}\cdot\text{h}^{-1} - 25\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) (Di Salvo et al., 2010; Haugen et al., 2014; Bush et al., 2015), mens 1-11% er sprint ($>25\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) (Wisløff et al., 2004; Hoff, 2005; Comfort et al., 2014; Styles et al., 2016). Det er samtidig vist at sprintene i gjennomsnitt varer i 2 - 4 sekunder (sek) med en gjennomsnittlig distanse på ca. 20 meter (Haugen et al., 2013; Haugen et al., 2014; Bush et al., 2015). Sprintene gjennomføres i gjennomsnitt hvert 60 - 90 sek (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005; Haugen et al., 2013). Ingen fotballkamp er helt lik og antall HL og antall sprinter (AS) vil variere ettersom hvordan kampen utvikler seg, og med endringer i den fysiologiske prestasjonsevnen utover kampen (Gregson et al., 2010). Haugen et al. (2014) viser til at profesjonelle fotballspillere har blitt raskere

med årene. Barnes et al. (2014) legger til med tall fra Premier League at AS og antall HL har økt med henholdsvis 85- og 50% fra 2006 til 2013.

Hvilke fysiske egenskaper skiller gode fra mindre gode fotballag?

Moderne fotball krever et høyt nivå av styrke, utholdenhet og fart (Modric et al., 2020). Ettersom en fotballspillers fysikk gjenspeiler prestasjonen i fotball, kan det tenkes at det vil være forskjell på de beste lagene i motsetning til de dårligere. Dette kan blant annet sees i forskjellige liganivåer og posisjonering på banen (Tabell 1). Differansene mellom HL for de tre lagene i Tabell 1 viser seg imidlertid å ikke være store. Tabell 1 viser derimot betraktelig større forskjeller i MS og AS mellom Premier League og norsk Eliteserie. Ved nesten alle tilfeller av posisjonering på banen har Premier League spillere dobbelt så mange sprinter som eliteseriespillere (Tabell 1). Spissene som oftest står for målene i fotball (Kubayi & Toriola, 2019), har i gjennomsnitt tre ganger så mange sprinter i Premier League enn i Eliteserien (Tabell 1). Spissene i Premier League har også ca. 30% flere MS enn spissene i Eliteserien (Tabell 1). Dette kan indikere høyere RSA hos gode, enn ikke fullt så gode fotballag.

Tabell 1: Sammenligning av høyintensive løp, antall sprinter og meter sprintet i Premier League og norsk Eliteserie

Posisjon	Gregson et al. (2010) (Premier League)			Ingebrigtsen et al. (2015) (Topplag Eliteserien)			Di Salvo et al. (2012) (Premier League)		
	HL	MS	AS	HL	MS	AS	HL	MS	AS
Midtstopper	604±164	145±65	20±9	542±141	123±48	11.2±5	482±116	168±72	25±10
Backer	951±231	254±96	32±12	1051±299	284±123	20.9±8.2	712±156	285±113	40±15
Midtbane	961±253	198±90	30±13	772±304	174±89	13.4±6.6	765±191	241±106	38±16
Kantspiller	1162±247	307±109	41±13	1168±249	294±76	23.2±6.8	898±200	353±124	50±17
Spiss	941±250	272±117	34±13	708±166	181±111	14.4±4.5	703±168	297±115	40.9±14.4

HL = høyintensive løp, MS = meter sprintet, AS = antall sprinter

Bestemmende faktorer for RSA

Maksimal aerob hastighet

MAS har blitt vist å være produktet av $VO_{2max} \cdot C^{-1}$ (Støren et al., 2021). MAS beskriver den minimale hastigheten for å oppnå VO_{2max} (Helgerud et al., 2010).

VO_{2max} blitt sett på som en av de viktigste prestasjonsfaktorene i fotball og andre utholdenhetsidretter (Åstrand et al., 2003; Bangsbo et al., 2006; Helgerud et al., 2007; Ingebrigtsen et al., 2011; Sanders et al., 2017; Støa et al., 2020). Under et fysisk arbeid, vil oksygenopptaket (VO_2) stige helt til arbeidet overstiger kroppens evne til å ta opp, transportere og utnytte oksygenet (O_2). Dette blir kalt for VO_{2max} , og defineres som den maksimale mengden O_2 en person kan ta opp fra atmosfæren og bruke per min ($L \cdot \text{min}^{-1}$, eller $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (Basset & Howley, 2000; Rankovic et al., 2010). En fotballkamp vil ha minst 90% aerob energifrigjøring, mens ca. 10% er anaerob energifrigjøring (Hoff et al., 2002; Ziogas et al., 2011; Dolci et al., 2018). I den foreliggende studien hadde deltakerne en gjennomsnittlig VO_{2max} på $53.3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, som er i nedre område av hva en profesjonell fotballspiller har i VO_{2max} ($50-75 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (Hoff, 2005; Stølen et al., 2005; Modric et al., 2020).

VO_{2max} bestemmes i hovedsak av lungenes diffusjonskapasitet, blodvolum, hjertets minuttvolum (MV), blodets transportkapasitet av O_2 og skjelettmuskulaturens evne til å ta opp og forbruke O_2 (Basset & Howley, 2000). De bestemmende faktorene kan deles inn i sentrale (Supply) og perifere (Demand) faktorer (Wagner, 1996; Basset & Howley, 2000), og kan ses igjennom Ficks formel: $VO_2 = MV \cdot aV-O_2$ -differansen (Spurway et al., 2012).

Supply

Lungenes diffusjonskapasitet omhandler lungenes kapasitet til gassutveksling av O_2 og karbondioksid (CO_2) mellom lungealveolene og kapillærer (Sand et al., 2014). Diffusjon vil bare skje når gassmolekylene flytter seg fra et område med høyt partialtrykk til et område med lavere partialtrykk (Åstrand et al., 2003). Blodet i venene har en høyere konsentrasjon av CO_2 , mens lungealveolene vil ha en høyere konsentrasjon av O_2 enn i lungekapillærene, og dermed skjer det en diffusjon (Sand et al., 2014). En vanlig persons partialtrykk i lungearterien vil ligge på $PO_2 = 40\text{mmHg}$ og $PCO_2 = 46\text{mmHg}$ (Åstrand et

al., 2003). Etter endt diffusjon vil partialtrykket i lungevenen være $PO_2 = 100\text{mmHg}$ og $PCO_2 = 40\text{mmHg}$ (Åstrand et al., 2003).

MV forklarer hjertets pumpekapasitet og er en avgjørende faktor for O_2 transport til arbeidende muskel (Spurway et al., 2012). *MV* er den mengden blod hjertet pumper ut til kroppen hvert min og bestemmes av hjertets slagvolum (*SV*) og hjertefrekvens (*HF*) (Basset & Howley, 2000). *SV* bli uttrykt som den mengden blod hjertet klarer å pumpe ut hvert slag, og blir sett på som den viktigste enkeltfaktoren for *MV* siden den kan trenes (Wisløff et al., 1998; Helgerud et al., 2007). *SV* er i tillegg sagt å bestemme ca. 70- til 80% av $VO_{2\text{max}}$ (di Prampero, 2003). Det ble vist av Helgerud et al. (2007) at en 10% økning i det maksimale *SV* ga en 7.2% økning i $VO_{2\text{max}}$. *HF* blir definert som antall hjertekontraksjoner per min, og regnes ikke som en trenbar faktor (Åstrand et al., 2003).

Blodvolumet til en utrent person ligger i gjennomsnitt på 4-6 liter avhengig av kroppsstørrelse, mens trente personer kan ha opp mot en liter mer (Åstrand et al., 2003). Det har blitt vist at total hemoglobin masse og blodvolum var henholdsvis 35- og 20-25% høyere hos utholdenhetsutøvere enn utrente personer (Heinicke et al., 2001; Convertino, 2007). Etter endt diffusjon vil det arterielle blodet inneholde ca. $200\text{ mL } O_2 \cdot L^{-1}$, og ca. $20-30\text{ mL } O_2 \cdot L^{-1}$ i det venøse blodet (Basset & Howley, 2000). Blodets primæroppgave er å transportere O_2 og CO_2 rundt i kroppen, hvor blodet transporterer O_2 til muskelceller i form av hemoglobin (97%) og plasma (3%) (McArdle et al., 2015; Benner et al., 2020).

Demand

Demand blir sett på som mengden O_2 skjelettmuskulaturen klarer å ta opp og utnytte igjennom energiomsetningen (Basset & Howley, 2000). Det er antall mitokondrier, enzymnivået av aerobe enzymer i mitokondriene, kapillærtettheten og den perifere diffusjonsgradienten som bestemmer skjelettmuskulaturens evne til å ta opp- og forbruke O_2 (Basset & Howley, 2000).

Basset & Howley (2000) definerer den *perifere diffusjonsgradienten* som diffusjonsgrad mellom blod og den aktive muskulaturen. Desto mere O_2 muskelcellen forbruker under

aerob energiomsetning, jo større diffusjonsgradient- og jo større behov for ytterligere *supply*.

Det finnes hovedsakelig tre *muskelfibertyper*; Type I og type II, der type II videre deles inn i type IIa og type IIx (Schiaffino & Reggiani, 1994; Pilegaard et al., 1999). Type I er de med tregest forkortningshastighet, og størst kapasitet for aerob energiomsetning med flere oksidative enzymer, større kapillærtetthet og flere mitokondrier (Holloszy & Coyle, 1984; Åstrand et al., 2003). En stor relativ andel type I-fibre vil dermed kunne øke *demand*.

En økt andel *mitokondrier* har blitt koblet opp mot økt VO_2 (Basset & Howley, 2000). Det har blitt vist til en moderat økning av VO_{2max} etter en økning av mitokondrie-enzymmer (Basset & Howley, 2000). En økt andel mitokondrier kan derfor tenkes bedrer VO_{2max} i liten grad. Dette gir en indikasjon på at under helkroppsarbeid, er det O_2 leveransen som er den avgjørende faktoren, og ikke muskelens evne til å utnytte tilgjengelig O_2 . Derimot har det blitt vist at en økt andel mitokondrier gjør at kroppen tar mere energi fra fett og sparer på glykogenet, samt produserer mindre laktat under hardt arbeid (Holloszy & Coyle, 1984).

En større *kapillærtetthet* vil gjøre at man klarer å opprettholde *mean transit time* til tross for økt blodtrykk i de tilførende arteriene (Basset & Howley, 2000). Det vil si å gi en lengre tid for diffusjon mellom kapillærene og muskelfibre (Lücker et al., 2018; Østergaard, 2020), og utsette muskulær tretthet under intensive treningsperioder (Laia-Marcello et al., 2009).

Oksygenkostnad

Løpsøkonomi blir oftest målt som C per løpte meter, og uttrykt som eksempelvis $mL \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ (Di Prampero et al., 1986; Helgerud et al., 1994). C blir dermed betegnet som O_2 forbruket pr. arbeid eller forflytning på en gitt submaksimal hastighet (Basset & Howley, 2000; Barnes & Kilding, 2015).

Selv om VO_{2max} regnes som den viktigste enkeltfaktoren for aerob utholdenhet i et heterogent utvalg, er C med på å påvirke prestasjonen (Støren et al., 2008; Ziogas et al., 2011; Dolci et al., 2018). Personer med en god C vil kunne bruke mindre O_2 ved samme

hastighet løpt, enn personer med dårlig C (Barnes & Kilding, 2015). Det har blitt vist at det er en forskjell på henholdsvis 20% i C mellom trente og utrente (Morgan et al., 1995), og 65% forskjell i C mellom eliteløpere med samme VO_{2max} (Conley & Krahenbuhl, 1980). En god C kan derfor kompensere for en noe dårligere VO_{2max} , noe som ses tydelig gjennom formelen for MAS, der eksempelvis 5% bedre C og 5% lavere VO_{2max} gir samme forbedring av MAS.

Laktatterskel

LT blir definert som den høyeste arbeidsintensiteten hvor laktatproduksjon ikke overstiger laktateliminasjon (Davis, 1985). LT kan enten bli uttrykt som % av VO_{2max} , eller indirekte som eksempelvis løpshastighet på LT (Støa et al., 2020). Flere studier har slitt med å finne bedring i selve LT uttrykt som % av VO_{2max} etter treningsperioder (Helgerud et al., 2007; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010). Det har derimot blitt funnet bedring i løpshastighet på LT etter en treningsperiode (Helgerud et al., 2007; Ferrauti et al., 2010; Hottenrott et al., 2012), noe som gir en indikasjon på at bedring i LT mest sannsynlig er et resultat av bedring i VO_{2max} eller C (McMillan et al., 2005, b; Støa et al., 2020).

Maksimal anaerob hastighet

En persons toppfart vil være det samme som en persons MANS (Støren et al., 2021). Overordnet blir løpshurtighet definert som produktet av steglengde og stegfrekvens (Ross et al., 2001). Steglengde bestemmes av akselerasjonen av kroppsmasse som resultat av hvert steg; altså kraft \cdot masse⁻¹ (Wisnes, 2013). Stegfrekvens bestemmes av tid på stegavviklingen og tid i luften- og ved en gitt steglengde legger stegfrekvensen forutsetningen for løpshastigheten samtidig som løpshastigheten er med på å bestemme stegfrekvensen. Nevromuskulært betyr dette at MANS blir bestemt av faktorer som: muskeltverrsnitt, muskelfibertypefordeling, konsentrasjon av kontraktile proteiner, fjærstivhet, evne til å rekruttere motoriske enheter, fyringsfrekvens, og muskelsamspill eller koordinasjon (Ross et al., 2001).

Muskulære faktorer

Muskeltverrsnitt

For å løpe hurtig er man avhengig av å produsere mye kraft på kort tid og med stor forkortningshastighet på muskelen. For kraftutvikling generelt, blir muskeltverrsnittet sett på som premissleverandøren for produksjon av kraft (McArdle et al., 2015).

Muskeltverrsnittet definerer den øvre grensen for hvor mange tverrbroer som kan gå i inngrep i parallell (Bamman et al., 2000; McArdle et al., 2015; Maffiuletti et al., 2016). Et større muskeltverrsnitt har blitt vist å kunne bedre potensialet for kraftproduksjonen (Häkkinen & Häkkinen, 1991; Brechue & Abe, 2002).

Muskelfibertype

Muskelfibertype vil påvirke kraftutviklingen relatert til forkortningshastighet, og har tidligere blitt referert som en av de viktigste faktorene for sprinthastighet (Ross et al., 2001). Type II vil være å foretrekke, siden disse fibre har en høyere kraftutvikling med høy kontraksjonshastighet og raskere spalting av ATP enn type I fibre (Fitts & Widrick 1996; Raastad et al., 2010). Relativ andel type IIa fibre har blitt vist å ha en negativ korrelasjon med tidsbruk på 10 meter sprint hos unge fotballspillere (Metaxas et al., 2019).

Nevrale faktorer

Motoriske enheter

Kraften i en muskelgruppe vil være regulert ut ifra hvor mange motoriske enheter som rekrutteres, og av fyringsfrekvensen i disse (Maffiuletti et al., 2016). Der tverrsnittet bestemmer potensialet for kraftutviklingen, er det rekrutteringen av antall motoriske enheter og fyringsfrekvensen i disse som bestemmer utnyttelsen av dette potensialet. Samspillet mellom de motoriske enhetene vil også være viktig for en best mulig effektiv kraftutvikling (Raastad et al., 2010; McArdle et al., 2015).

Fyringsfrekvens

Flere og flere motoriske enheter vil måtte rekrutteres for at større kraft skal oppnås, men for å utvikle ytterligere kraft fra 80% til maks kraft, vil fyringsfrekvensen være viktigst (Milner-Brown et al., 1973; Potvin & Fuglevand, 2017). Fyringsfrekvensen gir

signalet om hvor mye kalsium (Ca^{++}) som skal frigjøres fra sarkoplasmatiske retikulum. Jo mer Ca^{++} frigjøres, jo flere bindingssteder mellom myosinhoder og aktin avdekkes, og jo flere tverrbroer i inngrep (Raastad et al., 2010). Etter trening med maksimal mobilisering har det blitt vist at fyringsfrekvensen har økt, noe som tilsier at maksimal kraft både har økt og kan nåes raskere (Behm & Sale, 1993; Van Cutsem et al., 1998).

Muskelsamspill

Under en bevegelse, vil det være et samspill mellom agonist og antagonist som er med på å bestemme nettoresultatet av muskelkraften, kontrollen av denne og dermed koordinasjonen (Raastad et al., 2007). Er det et dårlig samarbeid mellom agonist og antagonist, kan dette føre til en for høy eller for langsom aktivering av antagonist som reduserer styrken og dreiemomentet til muskelen; samt stegfrekvensen og forårsake eventuelle skader (Carolan & Cafarelli, 1992; Gabriel et al., 2006).

Anaerob sprint reserve

Anaerob sprint reserve (ASR) blir definert som differansen mellom MAS og MANS (Sandford et al., 2021; Støren et al., 2021). Denne differansen mellom MAS og MANS kan bli uttrykt i enten relativ form (% av MAS eller MANS) eller absolutt form (f.eks. $\text{km}\cdot\text{t}^{-1}$) (Sandford et al., 2021). I den foreliggende studien ble det funnet en negativ korrelasjon mellom MAS og ASR ($r=-0.676$), og en positiv korrelasjon mellom MANS og ASR ($r=0.654$). Et slikt resultat ble tidligere funnet i et heterogent utvalg løpere (Støren et al., 2021) og fotballspillere (Ortiz et al., 2018). Det ble derimot ikke funnet noen korrelasjon mellom ASR og gjennomsnittstiden på 20 meter sprint i den foreliggende studien.

Muskeltretthet

Under RS blir muskeltretthet definert som en progressiv nedgang i kraftutvikling med påfølgende økt tidsbruk, der størsteparten av den muskulære trettheten bestemmes av pauselengden mellom sprintene (Glaister, 2012). Fotballspillere burde ideelt klare å holde den samme intensiteten ut en hel kamp. Det har derimot blitt vist at total distanse dekket i andre omgang av en fotballkamp, var mindre enn i første omgang (Reilly, 1997). Dette blir underbygget av Bangsbo et al. (1991) som fant en 5% nedgang i total distanse dekket fra første til andre omgang hos danske fotballspillere. En høy $\text{VO}_{2\text{max}}$ har vist seg

å være fordelaktig med tanke på hurtigere gjenoppbygging av kreatinfosfatlagre (PCr) (Yoshida & Watari, 1993; Takahashi et al., 1995; Bogdanis et al., 1996; Hoff, 2005; Stølen et al., 2005; Bishop et al., 2011; Girard et al., 2011; Jones et al., 2013; Sanders et al., 2017). Gjendannelse av adenosintrifosfat (ATP) ved nedbryting av PCr er det raskeste, og dermed viktigste energisystemet ved korte sprinter (McMahon & Wenger, 1998; Spencer et al., 2005; Glaister, 2012).

Fotballspillere med en høy VO_{2max} vil kunne ha en lavere tømning av glykogenlagre under kamp (Åstrand & Rodahl, 1986; Wisløff et al., 1998; Ekblom, 2012), sannsynligvis på grunn av større relativ fettomsetning på en gitt submaksimal belastning (Holloszy & Coyle, 1984; Nordby et al., 2006). Saltin (1973) fant ut at fotballspillere med lave glykogenlagre ved kampstart dekker 25% mindre distanse enn andre spillere. Det har også blitt vist at de med lave glykogenlagre spurtet 15% av den totale distansen tilbakelagt, i motsetning til 27% til de som hadde fulle glykogenlagre (Saltin, 1973). Krustrup et al. (2006) legger samtidig til at muskulær tretthet mot slutten av kampen samsvarer med redusert glykogennivå i muskelfibrene.

Effekten av muskeltretthet blir spesielt viktig mot slutten av kampen, da det er vist at intensiteten synker de siste 15 min (Hoff, 2005; Mohr et al., 2005; Bradley et al., 2009), samt at de fleste målene blir skåret de siste 15 min av kampen (Kubayi & Toriola, 2019).

Resultat fra foreliggende studie sett opp mot andre studier

Flere tidligere studier viser til at VO_{2max} har en betydning på gjennomsnittstiden ved RS (Aziz et al., 2000; Rampinini et al., 2009; Da Silva et al., 2010; Jones et al., 2013; Nikolaidis et al., 2015; Sanders et al., 2017). Det skal nevnes at Nikolaidis et al. (2015) opererte med MAS, som også den foreliggende studien gjorde. Siden VO_{2max} er en av to variabler som bestemmer MAS, er disse resultatene fra tidligere studier i samsvar med den foreliggende studien. Derimot er det tidligere studier som ikke fant en signifikant korrelasjon mellom VO_{2max} og gjennomsnittstiden ved RS (Meckel et al., 2009; Gharbi et al., 2015). Det kan eventuelt argumenteres ved at Meckel et al. (2009) kun brukte seks sprint-repetisjoner som ville være for få til at aerob energiomsetning har en stor nok påvirkning, slik som det ble vist i den foreliggende studien. Til gjengjeld ble det vist en signifikant korrelasjon mellom VO_{2max} og muskeltretthet hos de to nevnte studiene. Ingen studier jeg har funnet etter søk i databasen PubMed har sett på sammenhengen

mellom C og gjennomsnittstid ved RS. Det ble heller ikke funnet noen aktuelle studier som har sett på sammenhengen mellom MANS og gjennomsnittstid ved RS. Det skal på en annen side nevnes at MANS har blitt sett på som en prestasjonsbestemmende faktor i fotball (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005; Rønnestad et al., 2008; Bradley et al., 2010). Den foreliggende studien viste til ingen signifikant korrelasjon mellom MANS og gjennomsnittstid ved RS ($r=0.451$). Derimot var sammenhengen mellom 0.5 MANS og 0.5 MAS det som ga størst signifikant korrelasjon ($r=0.813$).

Metodiske betraktninger rundt testing av repeterte sprinter

Metodevalget i den foreliggende studien la vekt på en god forutsetning for kontrollerbarhet og reproduserbarhet. Det ble bestemt å lage en egenprodusert *repeated sprint track* (RST), der det skulle sprintes 20 meter, avbrutt av en aktiv fotballspesifikk løype som måtte gjennomføres på maks 100 sek før neste sprint. RSTen sin lengde er på 266,6 meter · 15 runder = 3999 meter. Varigheten på RSTen var 25 min. Styrken med denne standardiserte RSTen, er at det er i større grad likt hva som forekommer i en kampsituasjon med korte sprinter og en lang aktiv pause før en ny sprint (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005; Haugen et al., 2013). Tidligere studier har hatt tradisjonelle RSTer med alt fra 20 - 30 sek pause (Aziz et al., 2000; Rampinini et al., 2009; Da Silva et al., 2010; Sanders et al., 2017), som vil være for korte pauser når det i gjennomsnitt sprintes hvert 60 - 90 sek i en fotballkamp (Wisløff et al., 2004; Stølen et al., 2005; Haugen et al., 2013). Det vil av den grunn være mer relevant for validiteten opp mot en fotballkamp å starte hvert 100 sek før en ny sprint. Spencer et al. (2005) formidler samtidig at hvis en kort sprint blir gjennomført hvert 120 sek, vil det ikke bli sett noe reduksjon i prestasjonen på 15 sprinter. Derimot ble det vist reduksjon i sprintprestasjon ved 90 sek pause med 15 sprinter (Spencer et al., 2005). Dermed kan det argumenteres med at den aktive pausen i den fotballspesifikke løypen i det foreliggende studiet var litt lang med tanke på grad av muskulær tretthet. Det var nødvendig å ha et høyt antall sprint repetisjoner, fordi det blir lettere å se forandringer i prestasjon grunnet potensielt større nevro-muskulær tretthet (Gaitanos et al., 1993; Spencer et al., 2005). Dette ble vist i den foreliggende studien ved at det ikke ble funnet noe særlig forskjell i sprintprestasjon før de første fem sprintene hadde blitt gjennomført. Minuset med å ha 15 sprinter kan være motivasjonen underveis til å

gjennomføre hver sprint maksimalt. Det kan tenkes at motivasjonen hos enkelte dabbet av midt under RSTen, men kom tilbake igjen da de visste det var få sprinter igjen.

Over 90% av alle sprinter i en fotballkamp er under 20 meter (Vigne et al., 2010), og derfor ble den distansen valgt som sprintlengde i det foreliggende studiet. Den maksimale sprinten før og etter RSTen ble utført på 40 meter. Årsaken til dette er å få en lang nok distanse til at MANS kunne oppnås. Ifølge Haugen et al. (2013) bør en sprint være minst 20-30 meter før man oppnår toppfart. 40 meter sprinten viste til ingen signifikant endring fra pre til post, noe som kan bety at tre minutters pause var nok til å fylle opp PCr lagrene.

Ved å ha den aktive fotballpausen, er svakheten med RSTen at vi ikke vet om det er sprinten eller den aktive pausen som innvirker mest på den muskulære trettheten. Spencer et al. (2005) hevder blant annet at andre aktiviteter imellom sprintene som retningsforandringer og jogging, kan være med på å påvirke muskeltrettheten og forårsake en dårligere RSA. RSTen i den foreliggende studien vil aldri kunne gjenspeile en ekte fotballkamp, men en fotballkamp kan heller aldri reproduseres eller standardiseres. RSTen skulle gjerne ha vært lengre for å få den så lik en ekte kamp; altså flere RS. Men med tanke på blant annet motivasjon, evt. skaderisiko og tidsbruk, samt at RSTen skulle kunne ha en praktisk anvendelse i trenings og testverdagen til fotballklubber, ville en RST på 90 min vært lite aktuelt.

Praktiske implikasjoner og veien videre

Siden MAS og MANS til sammen viste seg å forklare svært mye av RSA i den foreliggende studien, vil det være naturlig å se litt nærmere på hva som betyr mest, og hvordan disse egenskapene evt. kan trenes.

Man skal være forsiktig med å generalisere på bakgrunn av ett studie, og med et ikke alt for stort utvalg som den foreliggende studien. Det bør med fordel kunne kjøres flere studier på både høyere og lavere nivåer enn i det foreliggende studiet for å få et større datagrunnlag. Slike kartlegginger bør også etterfølges av intervensjoner. På denne måten kan man komme nærmere et svar på om de observerte sammenhengene også innehar en kausalitet. I den foreliggende studien ble det vist at de med høyest MAS og

MANS hadde best RSA. Dersom intervensjoner også viser at bedret MAS og, eller MANS fører til bedret RSA, eller at dårligere MAS og, eller MANS fører til forverret RSA, har man kommet nærmere å kunne påvise en slik kausalitet.

Dersom man forutsetter at resultatene i den foreliggende studien faktisk er representative for fotballspillere generelt, og at det er sannsynlig at det er en kausalitet vedrørende sammenhengen mellom MAS, MANS og RSA, er det logisk at trening som bedrer MAS og MANS vil bedre RSA og evt. fotballprestasjonene.

Trening for å øke MANS

Utøvere med større maksimal styrke i strekkapparatet i underkropp har blitt vist å kunne prestere bedre i maksimal sprint enn utøvere med lavere maksimal styrke (Young et al., 1995; Wisløff et al., 2004; Cronin & Hansen, 2005; Requena et al., 2011; Comfort et al., 2012, a; Comfort et al., 2014). Signifikante korrelasjoner har blitt vist mellom sprint og en repetisjon maksimum (1RM) i knebøy (Wisløff et al., 2004; McBride et al., 2009; Comfort et al., 2012, b; Comfort et al., 2014; Seitz et al., 2014; Styles et al., 2016).

Plyometrisk trening i form av countermovement jump (CMJ), drop jump (DJ) og squat jump (SJ) har vist å korrelere med sprint hurtighet (Hennessy & Kilty, 2001; Cronin & Hansen, 2005; Loturco et al., 2020; Kobal et al., 2021).

Maksimal styrketrening (MST) utført som maksimal mobilisering i konsentrisk fase, 1-5 RM og 2-4 min pause (Tøien et al., 2018) har vist seg å i tillegg til å bedre C (Millet et al., 2002; Helgerud et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2003; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010), også kunne bedre hopphøyde (Helgerud et al., 2003; Wisløff et al., 2004; Chelly et al., 2009; Helgerud et al., 2011; Comfort et al., 2014), 1RM (Helgerud et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2003; Støren et al., 2008; Chelly et al., 2009; Cormie et al., 2010; Helgerud et al., 2011; Styles et al., 2016) og MANS (Helgerud et al., 2003; Hoff & Helgerud, 2003; Wisløff et al., 2004; Chelly et al., 2009; Helgerud et al., 2011; Comfort et al., 2014; Styles et al., 2016). MST i for eksempel knebøy synes derfor å kunne være en effektiv treningsmetode for å øke MANS, samtidig som Kotzamanidis et al. (2005) viser til at kombinert trening av MST og sprint ga en større forbedring av MANS, enn kun MST alene.

Trening for å øke MAS

Forbedring av VO_{2max} , har blitt funnet å være større ved høy aerob treningsintensitet enn lav aerob intensitet (Helgerud et al., 2007; Nybo et al., 2010). Det kan se ut som at trening over 85% HF_{max} , gjerne i området 90-95% HF_{max} er nødvendig for økning i VO_{2max} for allerede trente fotballspillere (Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff, 2005; Helgerud et al., 2011).

Trening gjennomført ved høyintensitets intervall trening (HIIT) som eksempelvis 4 · 4 eller 15/15 med intensitet på 85-95% av HF_{max} , har vist seg effektivt for å øke VO_{2max} (Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2003; Impellizzeri et al., 2006; Helgerud et al., 2007; Helgerud et al., 2011; Kunz et al., 2019) og slik sett også redusere akkumulasjon av laktat ved submaksimal løping i fotball (Laia-Marcello et al., 2009). Trening via småbanespill (Impellizzeri et al., 2006; Aguiar et al., 2012; Radziminski et al., 2013; Kunz et al., 2019), eller dribbeløype (Hoff et al., 2002; Chamari et al., 2005; McMillan et al., 2005, a) har vist seg effektivt for å øke VO_{2max} , dersom den tilsvarende høye aerobe intensiteten er muliggjort.

MST som beskrevet over har vist seg å bedre C i flere idretter, blant annet løping (Støren et al., 2008), sykling (Sunde et al., 2010) og langrenn (Østerås et al., 2002). Dette indikerer at MST i tillegg til å bedre MANS, også kan øke MAS ved å forbedre C (Hoff, 2005).

Aerob utholdenhetstrening har vist sammenheng med å forbedre C i form av HIIT med 4 · 4 og 15/15, der det er nødvendig å ligge i området 90-95% HF_{max} (Franch et al., 1998; Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2003; Helgerud et al., 2007). Å løpe ved hastighet opp mot 95-120% fart av VO_{2max} (vVO_{2max}) viser også til å forbedre C (Denadai et al., 2007; Barnes et al., 2013)

Plyometrisk trening i form av DJ, CMJ og SJ viste en forbedring av C (Spurrs et al., 2003; Turner et al., 2003; Berryman et al., 2010), i tillegg til at denne type trening også kunne forbedre MANS (Kotzamanidis, 2006; de Villarreal et al., 2008; Saez de Villarreal et al., 2012; Ramirez-Campillo et al., 2016; Oxfeldt et al., 2019; Ramirez-Campillo et al., 2020; Pardos-Mainer et al., 2021).

En samtidig intervensjon for å bedre MAS og MANS hos fotballspillere, som vist i Helgerud et al. (2011) hvor kombinasjonen av MST og HIIT ble benyttet, vil mest sannsynlig føre til gode forbedringer i RSA. RSA ble imidlertid ikke testet i Helgerud et al. (2011).

Litteraturliste

- Aguiar, M., Botelho, G., Lago, C., Macas, V. & Sampaio, J. (2012). A review on the effects of soccer small-sided games. *J Hum Kinet*, 33: 103-113.
- Andersson, H., Randers, M., Heiner-Møller, A., Krstrup, P. & Mohr, M. (2010). Elite female soccer players perform more high-intensity running when playing in international games compared with domestic league games. *J Strength Cond Res*, 24(4), 912-919.
- Aziz, A. R., Chia, M. & Teh, K. C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(3), 195-200.
- Bamman, M. M., Newcomer, B. R., Larson-Meyer, D. E., Weinsier, R. L. & Hunter, G. R. (2000). Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Med Sci Sports Exerc*, 32(7), 1307-1313.
- Bangsbo, J., Mohr, M. & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*, 24(7), 665-674.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L. & Thorsø, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*, 16(2), 110-116.
- Barnes, C., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R. & Kilding, A. (2013). Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(6), 639-647.
- 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. *Int J Sports Med*, 35(13), 1-6.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open*, 1(1), 8.
- Basset, D. R. jr. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximal oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70-84.

- Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol*, 74(1), 359-368.
- Benner, A., Aakash, K. P., Singh, K. & Dua, A. (2020). Physiology, Bohr effect. *Statpearls* [Internet].
- Berryman, N., Delphine, M. & Laurent, B. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *J Strength Cond Res*, 24(7), 1818-1825.
- Bishop, D., Girard, O. & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-Sprint Ability — Part II. *Sports Med*, 1(41), 741–756.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. & Lakomy, H. K. A. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*, 80(3), 876-884.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P. & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA premier league soccer matches. *J Sports Sci*, 27(2), 159-168.
- Bradley, P., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P. & Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles for elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2343-2351.
- Brechue, W. F. & Abe, T. (2002). The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *Eur J Appl Physiol*, 86(4), 327-336.
- Bush, M., Barnes, C., Archer, D.T., Hogg, B. & Bradley, P. S. (2015). Evolution of match performance for various playing positions in the English premier league. *Hum Movement Sci*, 39: 1-11.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. (1992). Adaptions in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol*, 73(3), 911-917.
- 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. *Br J Sports Med*, 39(1), 24-28.
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z. & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performance in junior soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2241-2249.
- Comfort, P., Bullock, N. & Pearson, S. J. (2012, a). A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20- meter sprint times, in athletes and recreationally trained med. *J Strength Cond Res*, 26(4), 937-940.

- Comfort, P., Haigh, A. & Matthews, M. J. (2012, b). 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), 772-776.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L. & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(1), 173-177.
- Conley, D. L. & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 12(5), 357-360.
- Convertino, V. A. (2007). Blood volume response to physical activity and inactivity. *Am J Med Sci*, 334(1), 72-79.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598.
- Cronin, J. B. & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*, 19(2), 349-357.
- Davis, J. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concepts and directions of future research. *Med Sci Sports Exerc*, 17(1), 6-21.
- Da Silva, J., Guglielmo, L. G. A. & Bishop, D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2115-2121.
- Denadai, B., Ortiz, M. J., Greco, C. C. & De Mello, M. T. (2007). Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO₂max: Effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, 31(6), 737-743.
- De Villarreal, E. S. S., Gonzalez-Badillo, J. J. & Izquierdo, M. (2008). Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *J Strength Cond Res*, 22(3), 715-725.
- Di Prampero, E. P., Atchou, G., Brückner, J. C. & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur J Physiol Occup Physiol*, 55(3), 259-266.
- Di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 90(3-4), 420-429.

- Di Salvo, V., Baron, R., Gonazalez-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F. & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA cup matches. *J Sports Sci*, 28(14), 1489-1494.
- Di Salvo, V., Pigozzi, F., Gonzales-Haro, C., Laughlin, M. S. & De Witt, D. E. (2012). Match performance comparison in top English soccer leagues. *Int J Sports Med*, 34(6), 526-532.
- Dolci, F., Hart, N. H., Kilding, A., Chivers, P., Piggott, B. & Spiteri, T. (2018). Movement economy in soccer: Current data and limitations. *Sports*, 6(4), 124.
- Ekblom, B. (2012). Applied physiology of soccer. *Sports Med*, 3(1), 50-60.
- Faude, O., Koch, T. & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30(7), 625-31.
- Ferrauti, A., Bergermann, M. & Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2770-2778.
- Fitts, R. H. & Widrick, J. J. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc Sport Sci Rev*, 24, 427-473.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S. & Pedersen, P. K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1250-1256.
- Gabriel, D. A., Kamen, G. & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med*, 36(2), 133-149.
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol*, 75(2), 712-719.
- 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*, 32(3), 207-212.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A. & Bishop, D. (2011). Repeated-Sprint Ability — Part I. *Sports Med*, 41(8), 673-694.
- Glaister, M. (2012). Multiple sprint work. *Sports Med*, 35(9), 757-777.

- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G. & Salvo, V. D. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med*, 31(4), 237-242.
- Haugen, T., Tønnessen, E. & Seiler, S. (2013). Anaerobic Performance Testing of Professional Soccer. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(2), 148-156.
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J. & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(3), 432-441.
- Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, B., Huber, G., ... Schmidt, W. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *Int J Sports Med*, 22(7), 504-512.
- Helgerud, J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in woman and men with similar performances level in marathons. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 68(2), 155-161.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U. & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1925-1931.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., ... Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO_{2max} more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 665-671.
- Helgerud, J., Kemi, O. J. & Hoff, J. (2003). Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players. I Hoff, J. & Helgerud, J (Red.), *Football (soccer): New developments in physical training research* (s. 55-66). Trondheim, NTNU.
- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J. & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med*, 32(9), 677-682.
- 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), 1099-1105.
- Hennessy, L. & Kilty, J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res*, 15(3), 326-331.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci*, 23(6), 573-582.

- Hoff, J. & Helgerud, J. (2003). Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance. I Hoff, J & Helgerud, J (Red.), *Football (soccer): New developments in physical training research* (s. 39-55). Trondheim, NTNU.
- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J. & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*, 36(3), 218-221.
- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4), 831-838.
- Hottenrott, K., Ludyga, S. & Schulze, S. (2012). Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *J Sports Sci Med*, 11(3), 483-488.
- Häkkinen, K. & Häkkinen, A. (1991). Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in woman at different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(6), 410-414.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Laia, F. M. & Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med*, 27(6), 483-492.
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B. & Wisløff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *Eur J Sport Sci*, 15(2), 101-110.
- Ingebrigtsen, J., Dillern, T. & Shalfawi, S. A. (2011). Aerobic capacities and anthropometric characteristics of elite female soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(12), 3352-3357.
- Johansen, J. M., Fjellet, S. G., Sunde, A., Gjerløw, L. E., Skeimo, L. A., Freberg, B. I., ... Støren, Ø. (2020). No change – No gain; The effect of age, sex, selected genes and training on physiological and performance adaptations in cross-country skiing. *Front Physiol*, 26(11): 581339.
- Jones, R. M., Cook, C. C., Kilduff, L. P., Milanovic, Z., James, N., Sporis, G., ... Vuckovic, G. (2013). Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *ScientificWorldJournal*, 1(4), 952350.
- Kobal, R., Freitas, T. T., Filter, A., Requena, B., Barroso, R., Rosseti, M., ... Loturco, I. (2021). Curve sprint in elite female soccer players: Relationship with linear sprint and jump performance. *Int J Environ Res Public Health*, 18(5), 2306.

- Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res*, 20(2), 441-445.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G. & Patikas, D. (2005). The effect of combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res*, 19(2), 369-375.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M. & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game. *Med Sci Sports Exerc*, 38(6), 1165-1174.
- Kubayi, A. & Toriola, A. (2019). Trends of goal scoring patterns in soccer: A retrospective analysis of five successive FIFA world cup tournaments. *J Hum Kinet*, 69(1), 231-238.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S. & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol*, 88(3), 811-816.
- Kunz, P., Engel, F. A., Holmberg, H. C. & Sperlich, B. (2019). A meta-comparison of the effects of high-intensity interval training to those of small-sided games and other training protocols on parameters related to the physiology and performance of youth soccer players. *Sports Med Open*, 5(1), 7.
- Laia-Marcello, F., Rampinini, E. & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(3), 291-306.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Reis, V. P., Fernandes, V., ... Requena, B. (2020). Curve sprinting in soccer: relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biol Sport*, 37(3), 277-283.
- Lücker, A., Secomb, T. W., Barret, M. J. P., Weber, B. & Jenny, P. (2018). The relation between capillary transit times and hemoglobin saturation heterogeneity. Part 2: Capillary networks. *Front Physiol*, 21(9), 1296.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*, 116(6), 1091-1116.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.

- 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), 1633-1636.
- McMahon, S. & Wenger, H. A. (1998). The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J Sci Med Sport*, 1(4), 219-227.
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R. & Hoff, J. (2005, a). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med*, 39(5), 273-277.
- McMillan, K., Helgerud, J., Grant, S. J., Newell, J., Wilson, J., Macdonald, R. & Hoff, J. (2005, b). Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med*, 39(7), 432-436.
- Meckel, Y., Machnai, O. & Eliakim, A. (2009). Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 163-169.
- Metaxas, T., Mandroukas, A., Michailidis, Y., Koutlianos, N., Christoulas, K. & Ekblom, B. (2019). Correlation of fiber-type composition and sprint performance in youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 33(10), 2629-2634.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc*, 34(8), 1351-1359.
- Milner-Brown, H. S., Stein, R. B. & Yemm, R. (1973). Changes in firing rate of human motor units during linearly changing voluntary contractions. *J Physiol*, 230(2), 371-390.
- Modric, T., Versic, S. & Sekulic, D. (2020). Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations. *Heliyon*, 6(11), e05427.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*, 21(7), 519-528.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *J Sports Sci*, 23(6), 593-599.

- Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D. & Bangsbo, J. (2008). Match activities of elite woman soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res*, 22(2), 341-349.
- Morgan, D. W., Bransford, D. R., Costill, D. L., Daniels, J. T., Howley, E. T. & Krahenbuhl, G. S. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Med Sci Sports Exerc*, 27(3), 404-409.
- 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.
- Nordby, P., Saltin, B. & Helge, J. W. (2006). Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scand J Med Sci Sports*, 16(3), 209-214.
- Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., ... Krstrup, P. (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc*, 42(10), 1951-1958.
- Ortiz, J. G., Teixeira, A. S., Mohr, P. A., Do Nascimento Salvador, P. C., Cetolin, T., Guglielmo, L. G. A. & de Lucas, R. D. (2018). The anaerobic speed reserve of high-level soccer players: a comparison based the running speed profile among and withing playing positions. *Human movement*, 19(5), 65-72.
- Oxfeldt, M., Overgaard, K., Hvid, L. G. & Dalgas, U. (2019). Effects of plyometric training on jumping, sprint performance, and lower body muscle strength in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 29(10), 1453-1465.
- Pardos-Mainer, E., Lozana, D., Torrontegui-Duarte, M., Carton-Llorente, A. & Roso-Moliner, A. (2021). Effects of strength vs. plyometric training programs on vertical jumping, linear sprint and change of direction speed performance in female soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 18(2), 401.
- Pilegaard, H., Terzis, G., Halestrap, A. & Juel, C. (1999). Distribution of the lactate/H⁺ transporter isoforms MCT1 and MCT4 in human skeletal muscle. *Am J Physiol*, 276(5), E843-E848.
- Potvin, J. R. & Fuglevand, A. J. (2017). A motor unit-based model of muscle fatigue. *PLoS Comput Biol*, 13(6), e1005581.

- Raastad, T. (2007). Fysiologiske tilpasninger ved styrke-, spenst- og hurtighetstrening. I Enoksen, E., Tønnessen, E. & Tjelta, L. I. (Red.), *Styrketrening: i individuelle idretter og ballspill* (s. 9-30). Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Raastad, T., Paulsen, G., Refsnes, P. E., Rønnestad, B. R. & Wisnes, A. R. (2010). *Styrketrening- i teori og praksis* (1 utg.). Oslo: Gyldendal Norsk forlag AS.
- Radziminski, L., Rompa, P., Barnat, W., Dargiewicz, R. & Jastrzebski, Z. (2013). A comparison of the physiological and technical effects of high-intensity running and small-sided games in young soccer players. *International journal of sports science & coaching*, 8(3), 455-466.
- Ramirez-Campillo, R., Castillo, D., Raya-Gonzalez, J., Moran, J., Saez de Villarreal, E. & Lloyd, R. S. (2020). Effects of plyometric jump training on jump and sprint performance in young male soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 50(12), 2125-2143.
- Ramirez-Campillo, R., Vergara-Pedrerros, M., Henriquez-Olguin, C., Martinez-Salazar, C., Alvarez, C., Nakamura, F. Y., ... Izquierdo, M. (2016). Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *J Sports Sci*, 34(8), 687-693.
- Rampinini, E., Sassi, A., Morelli, A., Mazzoni, S., Fanchini, M. & Coutts, A. J. (2009). Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Appl Physiol Nutr Metab*, 34(6), 1048-1054.
- Rankovic, G., Mutavdzic, V., Toskic, D., Preljevic, A., Kocic, M., Nedin-Rankovic, G. & Damjanovic, N. (2010). Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports. *Bosn J Basic Med Sci*, 10(1), 44-48.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci*, 15(3), 257-263.
- Requena, B., Garcia, I., Requena, F., Saez-Saez de Villarreal, E. & Cronin, J. B. (2011). Relationship between traditional and ballistic squat exercise with vertical jumping and maximal sprinting. *J Strength Cond Res*, 25(8), 2193-2204.
- Ross, A., Leveritt, M. & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running: Training adaptations and acute responses. *Sports Med*, 31(6), 409-425.
- 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), 773-780.

- Saez de Villarreal, E., Requena, B. & Cronin, J. B. (2012). The effects of plyometric training on sprint performance: A meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 26(2), 575-584.
- Saltin, B. (1973). Metabolic fundamentals in exercise. *Med Sci Sports*, 5(3), 137-146.
- Sand, O., Sjaastad, Ø. V. & Haug, E. (2014). *Menneskets fysiologi* (2. utg). Oslo: Gyldendal norsk forlag AS.
- 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.
- Sandford, G. N., Laursen, P. B. & Buchheit, M. (2021). Anaerobic speed/power reserve and sport performance: scientific basis, current applications and future directions. *Sports Med*, 51(10), 2017-2028.
- Schiaffino, S. & Reggiano, C. (1994). Myosin isoforms in mammalian skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 77(2), 493-501.
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., De Villarreal, E. S. & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analyses. *Sports Med*, 44(12), 1693-1702.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Med*, 35(12), 1025-1044.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J. & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 1-7.
- Spurway, N. C., Ekblom, B., Noakes, T. D. & Wagner, P. D. (2012). What limits $\dot{V}O_2\text{max}$? A symposium held at the BASES conference, 6 September 2010. *J Sports Sci*, 30(6), 517-531.
- Styles, W. J., Matthews, M. J. & Comfort, P. (2016). Effects of strength training on squat and sprint performance in soccer players. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1534-1539
- 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. *Front Physiol*, 4(11), 585267.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports Med*, 35(6), 501-536.

- 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. *Front Physiol*, 21(12), 672141.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 40(6), 1087-1092.
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M., Hoff, J. & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2157-2165.
- Swinnen, W., Kipp, S. & Kram, R. (2018). Comparison of running and cycling economy in runners, cyclists, and triathletes. *Eur J Appl Physiol*, 118(7), 1331-1338.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., ... Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med*, 31(7), 468-476.
- Takahashi, H., Inaki, M., Fujimoto, K., Katsuta, S., Anno, I., Nütsu, M. & Itai, Y. (1995). Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 71(5), 396-404.
- Turner, A. M., Owings, M. & Schwane, J. A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res*, 17(1), 60-67.
- Tøien, T., Haglo, H. P., Unheim, R., Hoff, J. & Wand, E. (2018). Maximal strength training: the impact of eccentric overload. *J Neurophysiol*, 120(6), 2868-2876.
- Van Cutsem, M., Duchateau, J. & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513(1), 295-305.
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G. & Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *Int J Sports Med*, 31(5), 304-310.
- Wagner, P. D. (1996). A theoretical analysis of factors determining VO_{2max} at sea level and altitude. *Respir Physiol*, 106(3), 329-343.
- 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. *Br J Sports Med*, 38(3), 285-288.

- Wisløff, U., Helgerud, J. & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, 30(3), 462-467.
- Wisnes, A. R. (2013). *Lærebok i biomekanikk*. Oslo: Cappelen Damm AS.
- Yoshida, T. & Watari, H. (1993). Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 67(3), 261-265.
- Young, W. B., McLean, B. & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 35(1), 13-19.
- Ziogas, G., Patras, K. N., Stergiou, N. & Georgoulis, A. D. (2011). Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res*, 25(2), 414-419.
- Østergaard, L. (2020). Blood flow, capillary transit times, and tissue oxygenation: the centennial of capillary recruitment. *J Appl Physiol*, 129(6), 1413-1421.
- Østerås, H., Helgerud, J. & Hoff, J. (2002). Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(3), 255-263.
- Åstrand, P. O. & Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology*. New York: Mcgraw-Hill.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A. & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. Champaign IL: Human kinetics.

