

**Treningsprosessen i distanseløp på
internasjonalt nivå**

**En analyse av treningsmengde,
treningsintensitet og krav til fysisk
kapasitet**

av

Leif Inge Tjelta

Avhandling for graden
DOCTOR PHILOSOPHIAE
(Dr.philos)



Universitetet
i Stavanger

Det humanistiske fakultet 2013

Universitetet i Stavanger
N-4036 Stavanger
NORWAY

www.uis.no

©2013 Leif Inge Tjelta

ISBN: 978-82-7644-553-4

ISSN: 1890-1387

PhD thesis no. 211

Innhold	i
Forord	iv
Sammendrag	v
Abstract	ix
Artikkelliste	xiii
Forkortelser	xiv
Definisjoner og forklaringer	xv
1 Innledning	1
1.1 Kappens oppbygning	3
1.2 Treningsmengde og treningsintensitet	5
1.2.1 Historiske utviklingstrekk	5
1.2.2 Forskning og treningsmengde i internasjonal distanseløping	11
1.2.3 Forskning og treningsintensitet i internasjonal distanseløping	16
1.2.4 Intensitetssoner	19
1.2.5 Periodisering av trening	23
1.3 Fysiologisk faktorer som påvirker prestasjonsnivået i distanseløp	27
1.3.1 Det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks})	29
1.3.2 Løpsøkonomi (LØ)	32
1.3.3 Utnyttingsgrad ($\% VO_{2maks}$)	37
1.3.4 Løpsfart ved anaerob terskel (vAT)	39
1.3.5 Løpsfart ved VO_{2maks} (vVO_{2maks})	41
1.3.6 Oppsummering:	43

2 Forsøkspersoner og metode	44
2.1 Forsøkspersoner	44
2.2 Analyse av treningsdagbøker	45
2.2.1 Intensitetssoner	45
2.2.2 Hjerterefrekvens, laktat og fart	46
2.3 Tester av eliteløpere	48
2.3.1 Anaerob terskel test (AT test)	48
3 Resultater	52
3.1 Treningsmengde og treningshyppighet	52
3.2 Fordeling av treningsintensitet	54
3.3 Periodisering av trening	56
3.4 Annen trening	61
3.5 Konkurranser i løpet av en sesong	62
3.6 Analyser av vAT	62
4 Diskusjon	66
4.1 Likheter og forskjeller i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan dette samsvarer med det som er dokumentert og anbefalt i forskningslitteraturen	66
4.1.1 Treningsmengde og treningshyppighet	66
4.1.2 Treningsintensitet	71
4.1.3 Periodisering av trening	76
4.1.4 Antall konkurranser i løpet av en sesong	77

4.2 Fysiologiske testresultater av norske eliteløpere sammenliknet med krav forskningslitteraturen setter til løpere på internasjonalt toppnivå	78
4.2.1 Maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks})	78
4.2.2 Løpsøkonomi (LØ)	79
4.2.3 vAT og $\%VO_{2maks}$	80
4.2.4 Løpshastighet ved VO_{2maks} (vVO_{2maks})	81
4.2.5 Forholdet mellom vAT og faktorene VO_{2maks}, LØ og $\%VO_{2maks}$	81
5 Konklusjon	85
6 Referanser	92
7 Artikkel I-V	105

Forord

Jeg vil nytte anledningen til å takke fagansvarlig Espen Tønnesen i Olympiatoppen, førsteamanuensis Sindre M. Dyrstad ved Universitetet i Stavanger og ikke minst min tidligere lærer, professor Eystein Enoksen ved Norges idrettshøgskole, for godt forskningssamarbeid og konstruktive innspill i forbindelse med oppbygningen av «kappen».

En takk også til løperne som har gitt tillatelse til at testresultater kan nyttes i vitenskapelig publisering. Takk til de utøverne som har gjort sine treningsdagbøker tilgjengelige for analyser.

En spesiell takk til min kone Torill som i 30 år har orket å høre på alt snakket om oksygenopptak, terskelfart, puls og treningsmengde. Takk for at du alltid var der når jeg kom hjem fra lange dager på jobb, fra treninger og treningssamlinger, og fra reiser og konferanser i inn- og utland. Og takk til Asle for det ekstra dyttet.

Stavanger, 22. april 2013

Leif Inge Tjelta

Sammendrag

Bakgrunn: Det er få studier som har sett på hvordan treningen til de aller beste distanseløperne fordeler seg på ulike intensitetsnivå gjennom et treningsår. Det er godt dokumentert at hastigheten ved anaerobe terskel (vAT) korrelerer med prestasjonsnivået i distanseløping. Ingen studier har sett på korrelasjonen mellom vAT og faktorene: maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) og løpsøkonomi (LØ) hos eliteløpere.

Mål: Målet med avhandlingen er å belyse følgende fire hovedproblemstillinger:

- 1: Hvordan trente norske junior- og seniorutøvere som har nådd internasjonalt nivå i distanseløping?
- 2: Hvilke sammenhenger er det mellom løpsfart ved anaerob terskel (vAT) og variablene maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), løpsøkonomi (LØ) og utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) hos 34 mellom- og langdistanseløpere som har vært deltakere i ulike prosjektgrupper i regi av NFIF?
- 3: Hvilke forskjeller og likheter er det i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan samsvarer dette med det som dokumenteres og anbefales i forskningslitteraturen?
- 4: Hvordan samsvarer fysiologiske testresultater av norske eliteløpere med de krav forskningslitteraturen setter til løpere som skal prestere på internasjonalt toppnivå?

Metode: Det ble foretatt analyser av treningsdagbøkene til: A) fire mannlige juniorutøvere som var på europeisk nivå i terrengløping i 2008 (artikkel I), B) seks norske langdistanseløpere på internasjonalt nivå (artikkel II), C) Grete Waitz (GW) (artikkel III) og D) Henrik Ingebrigtsen (HI) (artikkel IV). Utøvernes nedskrevne treninger har blitt klassifisert i ulike soner etter intensiteten som treningen er utført med.

Tester av 34 eliteløpere (22 menn og 12 kvinner) er analysert for å beskrive forholdet mellom vAT og hver av de tre faktorene: VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$ (artikkel V).

Resultater: 1: Gjennomsnittlig ukentlig treningsmengde for løperne i denne avhandlingen er strekt varierende. Blant de fire juniorløperne omtalt i artikkel I var det en variasjon i treningsmengde fra 110 t il 180 km /uke grunntreningsperioden. Blant seniorløperne varierte snittet i grunntreningsperioden fra 121 km/uke hos GW til 216,8 km/uke hos utøver E i artikkel II. Alle utøverne har kombinert langkjøring med lav intensitet med intervalltrening og/eller langkjøring i området rundt anaerob terskel. Prosentandelen med trening i spesifikk konkurransefart økte i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden.

2: Blant 34 norske løpere ble det funnet at de tre faktorene VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$ samlet forklart 89 % av variasjonen i vAT. For gruppen som helhet var det kun VO_{2maks} som korrelerte signifikant med vAT. VO_{2maks} var også blant menn eneste variabelen som

korrelerte signifikant med vAT. Blant kvinner ble det ikke funnet korrelasjon mellom vAT og noen av variablene VO_{2maks} , LØ og % VO_{2maks} . Dette er så oppsiktsvekkende at det bør gjøres flere studier knyttet til dette.

3: De fire unge distanseløperne omtalt i artikkel I, løp flere km/uke enn det som er rapportert løpt av unge spanske løpere og unge norske skiløpere. Seniorløperne omtalt i artiklene II, III og IV hadde treningsmengder i tråd med det som tidligere er rapportert i et begrenset utvalg av vitenskapelige publikasjoner.

4: Løperne omtalt i denne avhandlingen har hatt VO_{2maks} verdier tilsvarende de høyeste verdier rapportert i forskningslitteraturen. Verdiene for vAT og % VO_{2maks} i artikkel V er, grunnet ulike protokoller, vanskelig å sammenlikne med tilsvarende verdier fra andre studier. Det anbefales at man går over til å utføre AT-tester på mølle med 1 % stigning, i stedet for med 1,7 % som i dag. Videre anbefales det å utarbeide en norsk standard for estimering av løpshastigheten ved VO_{2maks} (vVO_{2maks}).

Konklusjon: Løpere som vil nå internasjonalt nivå i distanseløp bør i 18-19års alder løpe ≥ 110 km/uke. For seniorutøvere kan det se ut som at treningsmengder rundt 150-200 km/uke for 5000- og 10.000 m løpere, og 120-160 km/uke for 1500 m løpere er hensiktsmessig i grunntreningsperioden. Det synes også som at det å kombinere slike ukentlige løpsmengder med mye løping i terskelfart (2-4 økter) og en økt med høyere intensitet er gunstig. I tillegg bør det trenes hurtighetstrening og generell styrketrening. Det anbefales å redusere

antall økter og antall kilometer løpt i terskelfart, og øke antall økter i spesifikk konkurransefart, i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden for de som konkurrerer på distanser fra 1500 m til 10.000 m. Toppresuttater på maraton kan nås med enten en «liten» mengde og høy intensitets-modell (150-200 km/uke) eller en stor mengde og lav intensitets-modell (180-260 km/uke).

Nøkkelord: Eliteutøvere, distanseløping, treningsmengde, treningsintensitet, anaerob terskel, vAT , VO_{2maks} , løpsøkonomi

Abstract

Background: A limited number of studies have examined the distribution of training at different intensities during a training year among elite runners. It is well documented that the velocity at anaerobic threshold (vAT) correlates with level of performance in distance running. I have found no studies that have examined the correlation between vAT and the variables: maximal oxygen uptake (VO_{2max}), utilization of maximum oxygen uptake ($\%VO_{2max}$) and running economy (RE) in elite runners.

Purpose: The aim of this thesis is to answer the following main issues:

- 1: How did Norwegian junior and senior athletes who have reached the international level in distance running train?
- 2: What are the connections between running speed at the anaerobic threshold (vAT) and the variables maximal oxygen uptake (VO_{2max}), running economy (RE) and the utilization of VO_{2max} ($\%VO_{2max}$) in 34 middle- and long-distance runners who have been participants in different projects under the supervision of the Norwegian Athletic Federation?
- 3: What differences and similarities are there in the training of athletes featured in article I, II, III and IV, and how does their training match the training of elite distance runners reported in the research literature?

4: How do physiological test results of Norwegian elite runners match with the requirements the research literature sets for these test results for runners who perform at international level?

Method: There has been done analyzes of the training diaries to: A) four male junior runners who were at European level in cross country running in 2008 (article I), B) six Norwegian long-distance runners at an international level (article II), C) Grete Waitz (GW) (article III) and D) Henrik Ingebrigtsen (HI) (article IV). The recorded training in the runners training diaries has been classified according to the intensities at which the training has been performed, and listed in different intensity zones.

Tests of 34 elite runners (22 men and 12 women) were analyzed to describe the relationship between vAT and each of the three variables: VO_{2max} , RE and $\%VO_{2max}$ (Article V).

Results: 1: Average weekly running volume for runners in this thesis is a stretched variable. Among the four junior runners mentioned in Article I, there was a variation in training volume from 110 to 180 km/week in the preparation period. Among senior runners the weekly running distance ranged from 121 km/week for GW to 216.8 km/week for runner E in Article II. All athletes have combined continuous running performed at low intensity with interval training and/or continuous running at an anaerobic threshold pace. The percentage of training in specific race pace increased in the pre competition period and during the competition season.

2: Among the 34 Norwegian runners, it was found that the three factors VO_{2max} , RE and % VO_{2max} explained 89% of the variation in vAT among the runners. For the group as a whole, VO_{2max} was the only variable which was significantly correlated with vAT. Among men VO_{2max} was also the only variable that was significantly correlated with vAT. Among women there was no correlation between vAT and any of the variables VO_{2max} , RE and % VO_{2max} . This is so remarkable that further studies should be related to the topic.

3: The four young distance runners referred to in Article I, ran more km/week than what has been reported for young Spanish runners and young Norwegian cross-country skiers. The senior runners mentioned in articles II, III and IV had training volumes in line with those previously reported in a limited number of scientific publications.

4: Runners discussed in this thesis have had VO_{2max} values corresponding to the highest values reported in the research literature. The values for vAT and % VO_{2max} reported in Article V are, due to different protocols, difficult to compare with other studies. It is recommended that in AT-tests in the future should be performed with 1% inclination on the treadmill instead of 1.7% as used today. Furthermore, it is recommended to work out a standard Norwegian test for estimating velocity at VO_{2maks} (vVO_{2maks}).

Conclusion: Runners who want to reach international level in distance running should run ≥ 110 km/week at age of 18-19 years. For senior runners, it appears that training volumes around 150-200 km/week are

to be recommended for 5000- and 10.000 m runners and 120-160 km/week for 1500 m runners. It also seems that combining such a weekly training volume with 2-4 weekly sessions at anaerobic threshold pace and one weekly session with higher intensity is beneficial. In addition runners should do some sprint training and general strength training. It is also recommended to reduce the number of sessions at anaerobic threshold pace, and increase the number of sessions in specific race pace in the pre-competition period and during the competition season for those competing at distances from 1500 m to 10.000 m. Top results for the marathon can be reached by either a “low volume / high speed-model” (150-200 km/week) or a “high volume/ low speed-model” (180-260 km/week).

Keywords: Elite runners, distance running, training volume, training intensity, anaerobic threshold, vAT, VO_{2max} , running economy

Artikkelliste

Avhandlingen er basert på følgende artikler som i teksten er referert til som artikkel I, II, III, IV og V.

I. Tjelta, L.I., Enoksen, E., Training Characteristics of Male Junior Cross Country and Track Runners on European Top Level, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2010; 5(2):193-203.

II. Enoksen, E., Tjelta, A.R., Tjelta, L.I., Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2011; 6(2):273-293.

III. Tjelta, L.I., Tønnessen, E., Enoksen, E., A Case Study of the Training to Nine Times New York Marathon Winner Grete Waitz, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2014; 9(1), accepted, 13.03.2013.

IV. Tjelta, L.I., A Longitudinal Case Study of the Training of the 2012 European 1500 m Track Champion, *International Journal of Applied Sports Sciences*. 2013; 25 (1):11-18, accepted 19.03.2013.

V. Tjelta, L.I., Tjelta, A.R., Dyrstad, S.M., Relationship between Velocity at Anaerobic Threshold and Factors Affecting Velocity at Anaerobic Threshold in Elite Distance Runners, *International Journal of Applied Sports Sciences*. 2012; 24 (1):8-17.

Forkortelser

AT	Anaerob terskel
EM	Europamesterskap(et)
HF	Hjertefrekvens
HF _{maks}	Maksimal hjertefrekvens
km/uke	Kilometer per uke
km·t ⁻¹	Kilometer per time
[La ⁻]	Laktat
L·min ⁻¹	Liter per minutt
LØ	Løpsøkonomi
ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Milliliter per kilo per minutt
ml·kg ⁻¹ ·km ⁻¹	Milliliter per kilo per kilometer
n	Utvalgsstørrelse
OL	Olympiske leker
NFIF	Norges Friidrettsforbund
SD	Standard deviation eller standard avvik
vAT	Løpshastighet ved anaerob terskel
VM	Verdensmesterskap(et)
VO _{2maks}	Maksimalt oksygenopptak
vVO _{2maks}	Løpshastigheten hvor maksimalt oksygenopptak blir nådd
%VO _{2maks}	Utnyttingsgraden, den prosentvise andelen av maksimalt oksygenopptak som utnyttes ved løping i anaerob terskel fart

Definisjoner og forklaringer

Aerob kapasitet: (Se maksimalt oksygenopptak).

Aerob energiomsetning: Energifrigjøring gjennom forbrenning (oksidering) av fett og karbohydrater samtidig som ATP bygges. For hver liter oksygen som brukes frigjøres ca. 20 KJ (5 Kcal) (Forsberg & Saltin, 1987).

Anaerob energiomsetning: Energifrigjøring gjennom nedbryting av næringsstoffer uten tilgang av oksygen (Kåss, 2005).

Anaerob kapasitet: Den største mengden energi som kan frigjøres anaerobt (Bahr, Hallén, & Medbø, 1992).

Anaerob terskel (AT): Den høyeste arbeidsbelastningen under kontinuerlig dynamisk arbeid, med relativt store muskelgrupper, hvor det er likevekt mellom laktat produsert og laktat eliminert.

Anaerob terskel trening (AT-trening): Treningsformer der intensiteten ligger rundt anaerob terskelfart. Dette er for godt utholdenhetstrening, inkludert i denne avhandlingen, definert til å være ved intensitet hvor HF er fra 82-92 % av HF_{maks} .

Aerob trening: Treningsformer som har til hensikt å øke den aerobe utholdenheten og å bedre evnen til å frigjøre energi aerobt.

Anaerob trening: Treningsformer som har til hensikt å øke den anaerobe utholdenheten og å bedre evnen til å frigjøre energi anaerobt.

Arbeid: I fysikken definert som kraft · vei.

Løpsøkonomi (arbeidsøkonomi): Utøverens stabile VO₂ på en submaksimal belastning.

Fartslek: Veksling mellom høyere og lavere treningsintensiteter. Tempovariasjonene kan være improviserte eller grovplanlagte før treningen starter. Tempovariasjonene kan bestå av lengre arbeidsperioder (se lang intervall trening) og av kortere arbeidsperioder (se kort intervall trening), eller det kan være en miks av korte og lange arbeidsperioder.

Intervalltrening: Trening der en veksler mellom perioder med arbeid og pauser, eller trening der en veksler mellom høyere og lavere intensitet.

Kort intervalltrening: Treningen består av systematisk veksling mellom kortere arbeidsperioder og hvileperioder. Arbeidsperioder mellom 10 sekund og 90 sekund er vanlig.

Lang intervalltrening: Trening preget av nokså systematisk veksling mellom arbeidsperioder og hvileperioder. Arbeidsperiodene varer vanligvis fra 90 sekund til 10-15 min. Pausene er normalt kortere enn arbeidsperiodene.

Langkjøring eller langtur: Trening som utføres som kontinuerlig arbeid og med nokså jevn intensitet gjennom hele treningen.

Maksimalt oksygenopptak ($VO_{2\text{maks}}$): En persons aerobe kapasitet. Det vil si en persons maksimale evne til å ta opp og forbruke oksygen (O_2) per tidsenhet. O_2 opptaket måles oftest i $L \cdot \text{min}^{-1}$ eller $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Mmol: 0,001 mol (se mol).

μmol : 0,000 001 mol (se mol).

Mol: Måleenhet for substansmengde, f.eks. mengden av et kjemisk stoff; grunnenhet i SI-systemet. Et mol av et stoff er så mange gram av stoffet som molekylvekten eller (for et grunnstoff) atomvekten angir. I et mol av et stoff inngår alltid $6,0 \cdot 10^{23}$ molekyler (resp. atomer) av stoffet det er snakk om (Avogadros tall) (Kåss, 2005).

Periodisering: En inndeling av en lengre treningsperiode i hensiktsmessige kortere perioder med ulike mål og dermed oftest noe forskjellig innhold.

Progressiv langkjøring: Trening som utføres som kontinuerlig arbeid og hvor intensiteten gradvis øker i løpet av treningen.

Terskel intervalltrening: Intervalltrening hvor HF, laktat og intensitet ligger rundt HF, laktatverdi og intensitet ved anaerob terskel.

Treningsmengde: Begrepet treningsmengde eller treningsvolum kan defineres på to måter (Gjerset, 1992):

A: Den totale treningsinnsatsen eller arbeidsinnsatsen som blir utført per tidsenhet (dag, uke, måned, år). Ut fra mekanikkens lover betyr

dette at $arbeid = effekt \cdot tid$, eller $arbeid = intensitet \cdot tid$.

B: *Varigheten, omfanget eller utstrekningen av treningen* målt i f.eks. antall løpte kilometer per tidsenhet (dag, uke, måned eller år).

Treningsintensitet: Treningsintensitet er knyttet til den fysiske innsatsen i en øvelse eller aktivitet. Hjerterefrekvens-, oksygenopptaks- og laktatmålinger gir et objektivt bilde av den indre intensiteten. Fart eller watt er et objektivt mål for den ytre intensiteten (Frøyd et al., 2005).

Treningshyppighet: Antall ganger utøveren trener per dag, uke, måned eller år (Smith, 2003).

1 Innledning

Det er få studier som har dokumentert, klassifisert og analysert treningsvarighet, intensitetsfordeling og treningshyppighet hos eliteutøvere i utholdenhetsidretter (Steinacker et al., 1998; Seiler & Fiskerstrand, 2004; Tønnessen, 2009). Enda færre studier har dokumentert, klassifisert og analysert treningsmengde (målt som km løpt per tidsenhet), treningshyppighet og intensitetsfordeling over lengre tid til løpere som har prestert på høyt internasjonalt nivå i løpsøvelser fra 1500 m til maraton, det som i denne avhandlingen blir kalt distanseløping. De studier som har klassifisert treningen til distanseløpere på nasjonalt og internasjonalt nivå over tid, ved bruk av objektive treningsdata, har klassifisert trening utført over et tidsintervall fra 6-16 uker (Robinson et al., 1991, Billat et al., 2001; Billat et al., 2003; Stellingwerff, 2012). Karp (2007) har i en studie sett på treningsmengden til amerikanske maratonløpere som trente for å kvalifisere seg til O lympiske leker (OL). Dette var ingen objektiv analyse av utført trening, men en spørreundersøkelse hvor løperne ble spurt om hvor mange km/uke de vanligvis løp. En studie av Esteve-Lanao et al., (2005) har klassifisert trening utført av spanske løpere over et tidsrom på seks måneder. Distanseløperne i denne studien var imidlertid ikke løpere på internasjonalt nivå, men på regionalt nivå.

Dette at det ikke foreligger studier som har brukt objektive mål for å klassifisere treningen til distanseløper som har konkurrert på internasjonalt nivå på distanser fra 1500 m til maraton over en lengre

Innledning

periode som ett år, er bakgrunnen for studiene i artiklene I, II, III og IV og denne avhandlingen. Artikkel I beskriver treningen til unge utøvere som hevdet seg på europeisk toppnivå i terrengløping 2008. Artiklene II, III og IV beskriver treningen til norske seniorutøvere som har hevdet seg internasjonalt. Juniorutøverne omtalt i artikkel I har alle hatt positiv utvikling som distanseløpere etter at de vant sølvmedalje for lag i Europamesterskapet i terrengløp i 2008. En av utøverne omtalt i artikkel I ble i 2012 Europamester på 1500 m og nr. fem i OL på samme distanse. Hans trening fra han var 17 år i 2008 til han ble europamester i 2012 beskrives i artikkel IV: Avhandlingen beskriver således både treningsmengde og fordeling av treningsintensitet til talentfull ungdommer (artikkel I) og til seniorutøvere på internasjonalt nivå i distanseløping.

Det er godt dokumentert at hastigheten ved anaerobe terskel (vAT) korrelerer med prestasjonsnivået i distanseløping. Det er imidlertid ingen studier som har sett på korrelasjonen mellom vAT og faktorene: maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) og løpsøkonomi (LØ) hos eliteløpere. Dette er gjort i artikkel V.

Gjennom å dokumentere hvordan eliteløpere har trent, og ved å vise hvordan ulike fysiologiske faktorer påvirker prestasjonsnivået i distanseløp, var det et mål å få frem ny viten som kan være til nytte for trenere og kommende distanseløpere.

Innledning

Problemstillinger

I avhandlingen rettes søkelyset mot følgende fire hovedproblemstillinger:

- 1 Hvordan trente norske junior- og seniorutøvere som har nådd internasjonalt nivå i distanseløping?
- 2 Hvilke sammenhenger er det mellom løpsfart ved anaerob terskel (v_{AT}) og variablene maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), løpsøkonomi ($L\emptyset$) og utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) hos 34 mellom- og langdistanseløpere som har vært deltakere i ulike prosjektgrupper i regi av NFIF?
- 3 Hvilke forskjeller og likheter er det i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan samsvarer dette med det som dokumenteres og anbefales i forskningslitteraturen?
- 4 Hvordan samsvarer fysiologiske testresultater av norske eliteløpere med de krav forskningslitteraturen setter til løpere som skal prestere på internasjonalt toppnivå?

1.1 Kappens oppbygning

I innledningen belyses først treningsregimer og treningsteorier som har vært nyttet av de beste distanseløperne i sin samtid fra 1880 årene og frem til våre dager. Disse data er primært hentet fra foredrag på trenerkonferanser, fra fagbøker og fra tidsskrifter uten review. Videre vil

Innledning

vitenskapelige studier som har dokumentert treningsmengde, treningshyppighet og intensitetsfordeling av trening blant distanseløpere på elitenivå bli gjennomgått. Innledningens siste del er en gjennomgang av de viktigste fysiologiske faktorer som ifølge forskningslitteraturen bestemmer prestasjonsnivået på løpsdistanser fra 1500 m til maraton.

Videre beskrives avhandlingens utvalg og de metoder som er brukt i avhandlingen.

Under avhandlingens resultater presenteres først resultatene av treningsanalysene. Dette vil belyse avhandlingens første problemstilling. Deretter presenteres de funn som er knyttet til fysiologiske tester av 34 mellom- og langdistanseløpere på nasjonalt og internasjonalt nivå. Dette belyser avhandlingens andre problemstilling.

I diskusjonsdelen diskuteres resultatene opp mot avhandlingens to siste problemstillinger. Under konklusjon vil jeg med utgangspunkt i det som er dokumentert i avhandlingen først gi en kort oppsummering av svarene på hovedproblemstillingene. Til slutt vil det, på bakgrunn av det som er dokumentert av trening på elitenivå i distanseløp i denne avhandlingen og i forskningslitteraturen, bli trukket opp noen retningslinjer for det som synes å være «god praksis» for utøvere som ønsker å nå internasjonalt nivå i distanseløping.

1.2 Treningsmengde og treningsintensitet

Det er stor enighet blant trenere og forskere om at det er interaksjonen mellom de tre variablene: treningsmengde (kilometer løpt per tidsenhet), treningshyppigheten (hvor mange økter per uke man trener) og treningsintensiteten (hvor hardt man trener) som er avgjørende for å oppnå suksess innenfor distanseløping (Midgley, McNaughton, & Jones, 2007). Med distanseløping forstås i denne avhandlingen distanser fra 1500 m til maraton (42.195 m). Dette er distanser hvor energibidraget fra aerobe energisystemer er dominerende (Spencer & Gastin, 2001; Busso & Chatagnon, 2006). Til tross for at det er gjort forsøk på å beskrive optimale treningsmodeller for distanseløpere (Billat, 2001; Ferreira & Rolim, 2006; Karp, 2007; Seiler & Tønnessen, 2009), er det et stadig tilbakevendende tema for diskusjon hvordan forholdet mellom de tre nevnte variablene bør være for at treningen skal fremstå som mest mulig effektiv (Brandon, 1995; Grant, 2009; Seiler & Kjerland, 2006; Midgley et al., 2007).

1.2.1 Historiske utviklingstrekk

Før jeg tar for meg studier som omhandler eliteutøveres trening vil jeg gi en oversikt over historiske utviklingstrekk og sentrale treningsteorier fra som har vært rådende innen internasjonal distanseløping fra 1880 og frem til våre dager. Som en vil se har disse treningsteoriene blitt påvirket av treningsprinsippene som har gitt enkeltutøvere suksess, av anerkjente treneres synspunkter på trening og av fysiologisk forskning.

Innledning

Enkelte utøvere har fokusert på høy treningsintensitet og liten treningsmengde, noen har prioritert større treningsmengder og lavere treningsintensitet og andre har kombinert store treningsmengder med innslag av intensive treninger. Trenere som blir assosiert med gode utøvere har hatt en tendens til å være trendsettere for andre trenere og utøvere i sin samtid. Under følger en historisk oversikt over grove utviklingstrekk i treningsteorier som har vært nyttet av de beste distanseløperne i sin samtid fra 1880 årene frem til ca. 1970:

* Engelskmannen Walter George var den store løperen i 1880 årene og satte en rekke rekorder. I 1885 løp han, som profesjonell løper i USA, en engelsk mile (1609 meter) på 4:12.8 (noe som tilsvarer en 1500 m tid rundt 3:54). Det gikk 30 år før noen løp milen raskere. Det ble sagt om George at han ikke hadde de store treningsmengdene, men han løp daglig og han løp fort. Fra en til to miles (1600-3200 m) så fort han orket hver dag, var oppskriften (Krise & Squires, 1982).

*1920-1930-årene: Lauri Pikhala – Paavo Nurmi (Finland). Idrettsprofessoren Pikhala hadde oppholdt seg i USA og tok med seg hjem treningsideer som inspirerte så vel Nurmi som flere av de andre finske løperne på 1920 tallet. Nurmi utviklet et treningssystem som var en forløper til intervalltrening (Brook, 1992). Nurmi vant i løpet av tre OL (1920, 1924 og 1928) ni gull, tre sølv og en bronsemedalje. Han satte i løpet av sin karriere 22 verdensrekorder på distanser fra 1500 m til 20.000 m. I de første år av sin karriere var det ikke vanlig at Nurmi trente i vinterhalvåret. Senere la han inn turer med rask gang, og turer hvor han løp, om vinteren. I enkelte deler av treningsåret kunne han

Innledning

trene to ganger per dag. I mai 1924 kunne han som oppkjøring til OL i Paris løpe morgenøkter bestående av 4-5 · 80-120 m sprint. Disse sprint-dragene kunne bli etterfulgt av et testløp over 400-1000 m, før han så løp 3000-4000 m i «god fart». Han skal også ha løpt serier av intervaller opp til 600 m (Wilt, 1973).

* 1930-årene: Woldemar Gerschler var trener for de tyske mellomdistanseløperne før og etter andre verdenskrig. Gerschler trente blant annet mellomdistanseløperen Rudolf Harbig som i 1939 satte verdensrekord på 800 m med tiden 1:46.6. Gerschler innførte begrepet “intervalltrening” (Nett, 1960). Han ble senere trener for engelske Gordon Pirie. Pirie satte verdensrekord i Bergen på 5000 m i 1956 da han løp på 13:36.8.

* 1940-årene: Gösta Holmer var trener for Gunder Hägg og Arne Anderson. Disse legendariske svenskene, som satte en rekke verdensrekorder på distanser fra 1500 m til 5000 m, utviklet fartslek som treningsmetode. Dette var en veksling mellom intensive drag av ulik lengde og varighet, med roligere løping mellom dragene (Holmer, 1947). Hägg var den første som løp under 14 min på 5000 m (13:58.2).

* Den firdobbelte olympiske mester Emil Zatopek (vant 10.000 m i OL i 1948 og 5000 m, 10.000 m og maraton i OL i 1952) videreutviklet intervalltreningen i slutten av 1940- og begynnelsen av 1950 årene. Mesteparten av Zatopeks trening ble utført som store serier med intervalltrening. Som oftest trente han på bane. Eksempler på treningsøkter var 60 · 400 m på 80 sekund eller 40 · 400 m på 68 sek.

Innledning

Pausen var vanligvis 200 m jogg. I sin søken etter nye treningsmetoder hevdes det at Zatopek også prøvde å holde pusten mens han løp. Dette var ment å skulle utvikle lungekapasiteten. Han ble en gang funnet liggende bevisstløs i veikanten etter et forsøk på å slå sin egen rekord i antall telefonstolper han kunne løpe forbi uten å puste (Brook, 1992).

*1950-årene: Miholov Igloi (Ungaren) var trener for løperne: Sandor Iharos, Laszlo Tabori og Sandor Rozsnyi. Iharos satte i 1955 og 1956 verdensrekorder på 1500 m (3:40.8), 3000 m (7:55.6), 5000 m (13.40.6) og 10.000 m (28:42:8). Iharos rekord på 1500 m ble i 1956 tangert av Tabori. Rozsnyi ble nr. 2 på 3000 m hinder i OL i Melbourne i 1956, et løp hvor nordmannen Ernst Larsen ble nummer tre. Ungarerne bygde på Gerschlers intervallprinsipper, men avvek fra Gerschler ved også å bruke mye trening med høyere intensitet. Igloi hadde også som filosofi at løperne burde trene to ganger per dag (Brook, 1992).

*En annen trener som var sterk tilhenger av intervalltrening i 1950 årene var Franz Stampfel. Stampfel var trener for britene Roger Bannister, Chris Chataway og Chris Brasher. Bannister var den første i verden som løp en engelsk mile under 4 minutt da han 6. mai 1954 løp på 3:59.4. Han ble samme år Europamester på 1500 m. Chataway ble nr. 2 på 5000 m i EM 1954, og Brasher vant OL på 3000 m hinder i 1956. Disse løperne løp intervaller fra 400 m til 2200 m (1,5 miles) 3-4 ganger i uka. Intervallene gikk relativt rolig om høsten og intensiteten økte utover ettervinteren og våren (Brook, 1992).

Innledning

* 1960-årene var tiåret hvor flere trenere og utøvere beveget seg vekk fra et ensidig intervalltreningsregime. Ernest van Aaken var trener for Harold Norpoth (Vest-Tyskland) som ble nr. 2 på 5000 m i OL i 1964. Van Aaken tok et oppgjør med den harde intervalltreningen som hadde vært rådende i 1940 og 1950årene, og bygde sine treningsteorier på at rolig langkjøring var basisen i effektiv langdistansetrening (van Aaken, 1964). En som var inspirert av van Aaken var New Zealenderen Arthur Lydiard. Han var trener for Peter Snell (tre OL gull: 800 m i 1960 og 1964, og 1500 m i 1964) og 5000 m løperen Murray Halberg som vant denne distansen i OL i Roma i 1960. Lydiard hadde som filosofi at så vel mellomdistanseløpere som maratonløpere måtte basere sin grunntrening på langkjøring. I grunntreningsperioden skulle det løpes 160 km/uke. Grunntreningsperioden ble etterfulgt av en bakketreningperiode (ca. 6-8 uker) og en 10-12 ukers spesialtreningsperiode frem til “årets løp” (Lydiard & Gilmour, 1978). Lydiard ble senere landslagstrener i Finland og mye av Finlands suksess som løpsnasjon i 1970 årene og begynnelsen av 1980 årene, var basert på trening etter Lydiards prinsipper.

Fra 1970 årene og frem til i dag har de fleste utøvere som har hevdet seg på internasjonalt nivå innen distanseløping nyttet et regime hvor to til fem ukentlige økter med intervalltrening har blitt kombinert med roligere mengdetrening (Temple, 1980; Burfoot, 1981; Husby, 1982; Tjelta, 2003). Det har også blitt anbefalt at kvinner bør trene like mye og med samme relative intensitet som menn (Lenzi, 1983). Det er i ulike tidsskrift og andre kilder uten review rapportert at suksessfulle

Innledning

distanseløpere typisk har løpt mellom 120 og 2 50 km/uke (Burfoot, 1981; Husby, 1982; Ferreira, 1983; Karikosk, 1985; Evertsen, 1998; Tjelta, 2003; Tjelta, 2007).

Oppsummering

Utviklingstrekkene i internasjonal distanseløping endret seg fra å ha fokus på intensiv fartslek og intervalltrening i 1930, 40 og 50årene til van Aaaken og Lydiards langkjøringsfokus og mengdetreningsregime i 1960 årene. Toppresultater har blitt oppnådd med ulik treningsmengde. Karikosk (1984) som gjennom spørreskjema har kartlagt treningsmengdene til en rekke distanseløper på elitenivå, hevder at en heving av treningsmengde ikke nødvendigvis fører til resultatforbedring. Noakes (1986) er av samme oppfatning. Det finnes også andre aspekter ved trening som må vektlegges. Et slikt aspekt er treningsintensiteten. Imidlertid sitter ikke Karikosk (1984) og Noakes (1986) inne med tilstrekkelig informasjon om eliteløperes treningsintensitet til at de kan trekke noen konklusjoner.

De siste 25 år har de fleste suksessfulle distanseløpere kombinert intensiv intervalltrening med mye rolig langkjøring (Tjelta, 1996; Skah, 1997; Tjelta & Enoksen, 2001). Eliteløpere har typisk trent fra 11 til 14 økter per uke (Karikosk, 1984; Brook, 1992; Tjelta 1996; Skah, 1997; Tjelta & Enoksen; 2001)

1.2.2 Forskning og treningsmengde i internasjonal distanseløping

Begrepet treningsmengde eller treningsvolum kan defineres på to måter (Gjerset, 1992):

A: Den totale treningsinnsatsen eller arbeidsinnsatsen som blir utført per tidsenhet (dag, uke, måned, år). Ut fra mekanikkens lover betyr dette at $arbeid = effekt \cdot tid$, eller $arbeid = intensitet \cdot tid$.

B: Varigheten, omfanget eller utstrekningen av treningen målt i f.eks. antall løpte kilometer per tidsenhet (dag, uke, måned eller år).

Betydning B er den mest brukte i internasjonal løpslitteratur. Det er også denne betydningen av begrepet som vanligvis blir brukt av utøvere og trenere, og som er grunnlaget for det som i denne avhandlingen betegnes som treningsmengde. Det er vanlig å angi treningsmengden til en distanseløper, over et en gitt tidsperiode, som et gjennomsnitt av antall kilometer som blir løpt per uke (km/uke) (Tjelta & Enoksen, 2001; Billat et al., 2003b; Ferreira & Rolim, 2006; Karp, 2007). Imidlertid vil sammenhengen mellom intensitet og løpsdistanse alltid være sentral, og det er selvsagt et større arbeid å løpe en time når farten er $18 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ enn når farten er $15 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$.

Billat et al., (2003b) har gjort treningsstudier av kenyanske eliteløpere i løpet av en treningsuke i Europa i april måned. I tillegg ble utøvernes treningsdagbøker over en periode på 8 uker forut for denne uka analysert. Utvalget ($n = 20$) besto av 7 kvinner og 13 menn. Alle hadde

Innledning

plasseringer blant de 30 beste i det kenyanske mesterskapet i terrengløp i 2002. Ifølge Billat et al., (2003b) trente disse løperne enten etter ”en stor mengde og lav intensitets modell” («SMLI-modell») eller ”en liten mengde og høy intensitets modell” («LMHI-modell»). Menn (n = 6) som trente etter «LMHI-modellen» løp 158 ± 19 km/uke og kvinner (n = 6) som trente etter denne modellen løp 127 ± 8 km/uke. Menn (n = 7) som nyttet en modell hvor stor mengde ble vektlagt løp 174 ± 17 km/uke. Løperne som nyttet «SMLI-modellen» trente ofte tre ganger per dag. I de 8-9 rapporterte ukene løp utøverne i studien fra 10 til 16 økter i snitt per uke.

Ingrid Kristiansen (IK) var verdens beste kvinnelige langdistanseløper på midten av 1980 tallet. I 1985 satte IK verdensrekord i London Marathon med tiden: 2:21:06, og i 1986 satte hun verdensrekorder på 5000 m (14:37.33) og 10.000 m (30:13.76). I løpet av 49 uke r fra november 1985 til oktober 1986 var hennes samlede treningsmengde 7625 kilometer. Dette gir en gjennomsnittlig treningsmengde på 155 km/uke (Tjelta & Enoksen, 2001). IK trente oftest to ganger per dag. I en av ukene i januar 1986 rapporterte IK en total treningsmengde på 225 km. Dette var høyeste antall km i en enkeltuke i 1986. Det bør tilføyes at 80 av disse 225 kilometer ble tilbakelagt på langrennsski, alt annet var løping.

Den irske løperen Sonia O’Sullivan ble i 1995 verdensmester på 5000 m og vant verdenscupen. I 1998 vant hun begge distanser i VM i terrengløp og ble Europamester på både 5000 m og 10.000 m. I

Innledning

perioden november 1994 til mai 1995 løp O'Sullivan typisk 160 km/uke. Største treningsmengde i ei enkeltuke var 180 km . I konkurranseperioden ble det løpt flere økter i spesifikk konkurransefart og treningsmengden ble redusert til 115-120 km/uke. Hun løp vanligvis to økter per dag, men tre daglig løpsøkter er også rapportert (Tjelta & Enoksen, 2001).

Ifølge Rabadan et al. (2011) løp spanske mellomdistanseløpere (n = 40) som var på topp nasjonalt nivå i perioden 2000-2008, 130-140 km/uke i grunntreningsperioden. Langdistanseløpere (n = 32) på samme nivå løp i samme periode 160-180 km/uke.

Ifølge Ferreira & Rolim (2006) er treningen til mannlige maratonløpere på internasjonalt toppnivå basert på en av to såkalte basismodeller: Modell 1): Stor mengde og lav intensitet («SMLI-modellen»). Gjennomsnittlig treningsmengde er mellom 200-260 km/uke, og 80-85 % av treningen blir utført med relativt lav intensitet (60-75 % av VO_{2maks}).

Modell 2): «Liten» mengde og høyere intensitet («LMHI-modellen»). I denne modellen ligger treningsmengden fra 150-200 km/uke og en stor prosentandel av treningen blir gjennomført med en intensitet hvor oksygenopptaket er mellom 80 og 87 % av VO_{2maks} .

Begge modellene har blitt brukt med suksess av maratonløpere som har prestert på topp internasjonalt nivå (Ferreira & Rolim, 2006).

Karp (2007) har i en studie beskrevet treningsmengdene til amerikanske maratonløpere som trente for å kvalifisere seg til OL.

Innledning

Mannlige eliteløperne rapporterte at de løp flere kilometer per uke enn de nasjonale løperne (155.6 ± 9.3 versus 144.2 ± 26.5 km/uke). De kvinnelige eliteløperne løp også mer enn de som var på nivået under (135.8 ± 31.5 versus 111.3 ± 23.3 km/uke). Karp (2007) understreker at 74,8 % av treningsmengden til de beste amerikanske mannlige maratonløperne og 68,5 % av treningsmengden til de beste kvinnene, er trening i en fart roligere enn den farten de har når de løper maraton. Et annet poeng som ble fremholdt var at de beste maratonløperne som deltok i U.S. Olympic Marathon Trials også løp fortere enn de nest beste maratonløperne i baneløp.

Britiske Paula Radcliffe som innehar verdensrekorden på maraton for kvinner (pr 20.04.2013) med tiden 2:15:25 løp mellom 192 og 256 km/uke (120-160 miles) i periodene hun var i full maratontrening (Jones, 2006). Hun trente da typisk to økter per dag. Hva snittet (km/uke) var i løpet av et helt år går imidlertid ikke frem av studien til Jones (2006).

Stellingwerff (2012) registrerte trening og matinntak til tre maratonløpere på elitenivå gjennom 16 uker før de løp maraton på 2:11:23, 2:12:39 og 2:16:17. I snitt løp de 182 km/uke. Høyeste treningsmengde i ei enkeltuke var 231 km. De løp i snitt 13 økter per uke.

I en studie hvor en registrerte treningen til spanske distanseløpere på regionalt nivå over seks måneder fant Estave-Lanao et al. (2005) at det som skilte de beste fra de nest beste, var ikke mengden av moderat og intensiv aerob trening. De beste løperne utførte imidlertid en større total

Innledning

mengde (flere km/uke) med trening. Denne ekstra mengden var som følge av mer trening utført med lav intensitet. Det bør tilføyes at ingen av løperne i denne studien i snitt løp tilnærmet like mange km/uke som kenyanske eliteløpere som har relativ liten treningsmengde (de som nytter «LMHI-modellen») (Billat et al., 2003b). Også registrering av treningen til norske roere over lengre tid har vist at det er stor grad av sammenheng mellom treningsmengde, målt i antall timer det trenes per år, og prestasjonsnivå (Fiskerstrand & Seiler, 2004).

Oppsummering

Ifølge forskningslitteraturen har suksessfulle distanseløperne som primært har konkurrert på distanser fra 1500 m til maraton typisk løpt mellom 120 og 260 km /uke (Tjelta & Enoksen, 2001; Billat et al., 2003b; Karp, 2005; Ferreira & Rolim, 2006; Jones, 2006; Rabadan et al., 2011). Kenyanske løpere som har oppnådd suksess med treningsmengder mellom 120-150 km/uke har typisk trent med høyere treningsintensitet enn de som har løpt over 200 km/uke (Billat et al., 2003b). Stor treningsmengde er ofte et resultat av mange ukentlige treningsøkter (Billat et al., 2003b). Mannlige distanseløpere fra Kenya som har høy ukentlig treningsmengde trener ofte tre ganger per dag (Billat et al., 2003b). Mannlige maratonløpere på internasjonalt nivå har i snitt løpt mellom 150 og 260 km/uke. Også blant maratonløpere fant man at løperne som løp færrest km/uke trente etter et regime med høyere intensitet enn de som løp flest km/uke (Ferreira & Rolim, 2006).

1.2.3 Forskning og treningsintensitet i internasjonal distanseløping

Sonia O'Sullivan, Europamester på 5000 m og 10.000 m i 1994 løp i grunntreningsperioden typisk 14 økter per uke. En økt var intervaller fra 800 m til 1600 m hvor hjerterefrekvensen (HF) lå mellom 90 og 95 % av maksimal hjerterefrekvens (HF_{maks}), en økt var bakkeløp ($10 \cdot 1$ min) og en økt var hurtig langkjøring. Hun økte antall intensive økter i spesifikk konkurransefart samtidig som hun reduserte treningsmengden til 120-130 km/uke i konkurranse-sesongen (Tjelta & Enoksen, 2001).

Som det fremgår av forskningslitteraturen har suksessfulle distanseløperne som primært konkurrer på distanser fra 1500 m til 10.000 m de siste 25 årene, løpt mellom 120 og 200 km/uke (Tjelta, 1996; Billat et al., 2001; Tjelta & Enoksen, 2001; Billat et al., 2003b). Flere av de beste maratonløperne har løpt treningsmengder ≥ 250 km/uke i enkelt deler av treningsåret (Ferreira & Rolim, 2006; Jones, 2006). Store ukentlige treningsmengder i grunntreningsperioden, hvor det typisk løpes flest kilometer per uke, har oftest blitt kombinert med to- tre økter per uke med mer intensiv trening. Blant kenyanske kvinner som har trent etter en mengdetreningsmodell, nevnes Tegla Lourope som i 1998 og 1999 satte verdensrekorder på maratondistansen ved å løpe på henholdsvis 2:20:47 og 2:20:42 i Rotterdam og Berlin. Tegla Lourope gjorde gjerne en ukentlig intervalløkt som: $6 \cdot 1$ mile (1609 m) med pauser = 200-400 m jogg. Ifølge Billat et al., (2003b) ble dette løpt i hastighet mellom 5000 m og 10.000 m fart. Blant 13 mannlige distanseløpere fra Kenya fant Billat et al. (2003b) at sju nyttet en

Innledning

«SMLI-modell» og seks en «LMHI-modell». I tillegg til at de som nyttet «SMLI-modellen» løp mange km/uke, løp de også flere av langkjøringene rundt anaerob terskelfart (maratonfart til halvmaratonfart). Varigheten av disse øktene var mellom 45 og 70 min.

Trenere som har trent mannlige maratonløpere på internasjonalt toppnivå etter «SMLI-modellen» (Ferreira & Rolim, 2006) klassifiserer langkjøring hvor kilometertiden er mellom 4:10 og 3:45 min som rolig, moderat mellom 3:50 og 3:30 min per km og hurtig når farten er mellom 3:15 og 3:00 min per km. Lange intervaller som eksempelvis gjentatte repetisjoner over 1000 m blir brukt av alle maratontrenerne i studien til Ferreira & Rolim (2006) i konkurranseperioden. For de som trener etter en «SMLI-modell» løpes det typisk 15 · 1000 m med 45 sek pause i en fart av 2:55 per 1000 m. Intervaller av kortere lengde blir brukt av de fleste trenerne i studien, men mest i konkurranseperioden hvor 10 av 12 trenere benytter denne treningsformen. Gjentatte 400 m nevnes som eksempel på slike intervaller. I konkurranseperioden er det et spenn mellom trenerne i anbefalt antall 400 m som ligger mellom 14 og 26. De som anbefaler flest repetisjoner er de som trener etter «SMLI-modellen». En økt bestående av 26 · 400 m på 68 sek med 1 min pause nevnes som eksempel.

De tre maratonløperne på elitenivå som Stellingwerff (2012) registrerte treningsmengde, treningsintensitet og matinntak til gjennom en periode på 16 uker hadde følgende intensitetsfordeling av løpsøktene: 74 % av treningsøktene ble løpt med lav intensitet, 11 % med intensitet rundt

Innledning

anaerob terskel og 15 % av øktene ble gjennomført i fart > an aerob terskel fart.

Den kvinnelige maratonløperen Paula Radcliffe trente også etter en «stor mengde - modell», men hennes trening var ikke preget av lav intensitet. På flere av langkjøringene kunne hun løpe i en fart fra 3:40 til ned mot 3:20 min per km (Jones, 2006). Radcliffe løp i tillegg til disse langkjøringene typisk en økt i anaerob terskelfart, og en til to økter med intervalltrening mellom 95-100 % av VO_{2maks} per uke når hun var i full maraton trening (Jones, 2006).

Studie av treningen til kenyanske eliteløpere (Billat et al., 2003b) viste at de fleste kvinneløpere og 6 av 13 mannlige eliteløpere nyttet en treningsmodell preget av «lite» mengde og høy intensitet («LMHI-modellen»). Disse løpernes treningsmengde var gjerne rundt 120-130 km/uke. De trente typisk to intervalløkter per uke. Den ene økta kunne være: 10-20 · 400-600 m rundt VO_{2maks} fart (sone 3 i tabell 2) eller 7 · 200 m i 120 % av farten ved VO_{2max} (vVO_{2max}) (sone 4 i tabell 2). Den andre ukentlige intervalløkta kunne for disse løperne være lengre intervaller som ble løpt mellom vVO_{2max} og løpsfart ved anaerob terskel (vAT). Ifølge Billat al. (2003b) er dette en løpsfart som ligger nær spesifikk 10.000 m fart (sone 3 i tabell 2). En slik økt kan være 10 · 1000 m eller 5 · 2000 m.

Innledning

Oppsummering

Ifølge forskningslitteraturen kan toppresultater i distanseløp oppnås både gjennom en «SMLI-modell» (stor mengde - lav intensitet), en «LMHI-modell» («liten» mengde - høy intensitet) eller etter en modell som en kombinasjon av disse modellene (Billat et al., 2003b; Ferreira & Rolim, 2006; Jones, 2006). Treningsmengde (km/uke) og treningsintensitet må ses i forhold til den enkelte utøvers nivå, hvor mange år utøveren har vært på internasjonalt nivå og ikke minst ut fra utøverens individuelle karakteristika (Ferreira & Rolim, 2006).

1.2.4 Intensitetssoner

For at norske trenere og utøvere i utholdenhetsidretter skal ha felles referanseramme når de refererer til treningsintensitet, har Olympiatoppen utarbeidet en 8-delt intensitetsskala basert på hjertefrekvens i % av HF_{max} , VO_2 i % av VO_{2maks} , laktatverdier og total varighet i timer og minutter som er typisk for trening i ulike soner (Frøyd et al., 2005). Skalaen er en generell skala utarbeidet for de fleste utholdenhetsidretter. Det bør tilføyes at når treningen utføres i sonene 3-7, vil oppvarming og ned-jogging komme i tillegg til den tid som er skissert brukt på trening i den aktuelle sonen. Hurtighetstrening for distanseløpere (sone 8) vil vanligvis ikke bli trent i egne økter, men oftest før eller etter annen trening. Laktatverdiene det refereres til i tabell 1 og 2 er basert på målinger med Lactate Pro LT-1710TM (Frøyd et al., 2005). YSI analysator som er brukt i artikkel V måler systematisk

Innledning

lavere verdier ved samme belastning (se 2.2.2 Hjerterefrekvens, laktat og fart).

Tabell 1: Olympiatoppens 8 intensitetssoner med veiledende verdier for % av VO_{2maks} , % av HF_{maks} , laktakonsentrasjon ($mmol/L^{-1}$) og total varighet (Frøyd et al., 2005).

Intensitet Sone	% av VO_{2maks}	% av HF_{maks}	Laktat	Total varighet
1	45-65	60-72	0,8-1,5	1-6 timer
2	65-80	72-82	1,5-2,5	1-3 timer
3	80-87	82-87	2,5-4,0	50-90 min
4	87-94	87-94	4,0-6,0	30-50 min
5	94-100	94-100	6,0-10	15-30 min
6				6-15 min
7				3-6 min
8				1-3 min

En innvending mot Olympiatoppens intensitetsskala er at den ikke tar hensyn til individuelle variasjoner i forskjeller mellom hjerterefrekvens og laktatverdier, og at den ikke fanger opp at det stabile laktatnivået er høyere i aktivitetsformer som involverer mindre muskelmasse (Beneke & von Duvillard, 1996; Beneke, Leithaeuser, & Huetler, 2001) . Trening i sone 1-5 stimulerer i hovedsak de aerobe energiprosesser, og trening i sone 6-8 de anaerobe energiprosesser. I sone 6-8 er det mest hensiktsmessig å bruke fart som mål på intensitet (Frøyd et al., 2005).

I stedet for fem aerobe intensitetssoner har andre operert med tre aerobe soner (Esteve-Lanao et al., 2005; Seiler & Kjerland, 2006). Når en opererer med tre aerobe intensitetssoner vil sone 1 tilsvare sonene 1 og 2 i tabell 1, og sone 2 vil tilsvare sone 3 og nedre del av sone 4. Øvre

Innledning

del av sone 4 og sone 5 i tabell 1 vil dekke sone 3 i den i 3-delte aerobe skalaen (Seiler & Tønnessen, 2009). Inndeling av aerob trening i tre soner har blitt brukt i studier der treningsintensitet har blitt relatert til ventilasjon og laktat. Trening i et intensitetsområdet under første laktat- (L1) og ventilasjonsterskel (V1) (sone 1) er lav intensitetstrening med laktat $< 2 \text{ mmol/L}^{-1}$. Sone 2 klassifiseres som terskeltrening mellom V1/L1 og V2/L2, laktat mellom 2 mmol/L^{-1} og 4 mmol/L^{-1} . Sone 3 er trening utført i intensitetsområdet over V2/L2, laktat $> 4 \text{ mmol/L}^{-1}$ (Lucia, et al., 1999; Lucia et al., 2003; Seiler & Kjerland, 2006).

Om vi skal klassifisere trening i en skala med tre aerobe soner vil det også være hensiktsmessig å ta med to anaerobe soner som sone 4 og 5. Sone 4 vil da være trening av anaerob utholdenhet, sone 5 vil være hurtighetstrening. En fem-delt skala med tre aerobe intensitetssoner og to anaerobe soner, tilpasset distanseløpere på elitenivå, vil da kunne være som skalaen i tabell 2. I skalaen i tabell 2 er sone 2 definert til å være laktat mellom 2 og 4 mmol/L^{-1} . Referanseverdiene er målinger foretatt med Lactate Pro LT-1710TM (se 2.2.2).

Når treningen til HI er blitt klassifisert (artikkel IV), er sone 2 definert til å være mellom 2,0 og $4,0 \text{ mmol/L}^{-1}$. I artikkel I sone 2 definert til å være mellom 2,0 og $4,5 \text{ mmol/L}^{-1}$. HF i sone 2 er imidlertid både i artikkel I og IV definert mellom 82-92 % av HF_{maks} . Det må tilføyes at overgangen mellom de ulike intensitetssonene alltid er flytende, og at intensitetssonene ikke er basert på klart definerte fysiologiske markører (Seiler & Tønnessen, 2009). Forholdet mellom HF og laktat vil også

Innledning

varierte mellom ulike utøvere, og det vil variere for en og samme utøver i løpet av en treningsperiode (Tjelta, 1996). Tabell 2 skisserer type trening som blir utført, typiske laktatverdier for godt trente distanseløpere, HF i % av HF_{maks} og antatt fysiologisk tilpasning i de ulike soner.

Tabell 2: 5-delt intensitetskala: Intensitetssoner, løpsfart og type trening, laktatverdier under trening, HF i % av HF_{maks} , og antatt fysiologisk påvirkning av trening.

	Intensitetszone/ type trening	Laktat (mmol/L⁻¹)	HF i % av HF_{maks}	Fysiologisk tilpasning
1	Rolig og moderat løping	0,7-2,0	62-82 %	Restitusjon og bedring av LØ
2	Terskeltrening	2,0-4,0	82-92 %	Øke vAT og VO_{2maks}
3	Intensive aerobe intervaller	4,0-6,0	92-97 %	Øker VO_{2maks}
4	Anaerob trening, 800m og 1500m fart	> 6,0	> 97 %	Øker anaerob kapasitet
5	Sprint			Bedrer hurtighet

Oppsummering

Olympiatoppen har utarbeidet en 8-delt intensitetskala basert på hjertefrekvens i % av HF_{maks} , VO_2 i % av VO_{2maks} og laktatverdier

Innledning

under trening i skalaens ulike soner for at utøvere og trenere i utholdenhetsidretter skal ha en felles referanseramme når de diskuterer treningsintensitet (Frøyd et al., 2005). Skalaen inneholder fem aerobe og tre anaerobe soner.

Flere internasjonale studier bruker en skala bestående av tre aerobe soner for å klassifisere aerob utholdenhetstrening (Esteve-Lanao et al., 2005; Seiler & Kjerland, 2006). Trening i et intensitetsområdet under første laktat- (L1) og ventilasjonsterskel (V1) (sone 1) er lav intensitetstrening med laktat < 2 mmol/L-1. Sone 2 klassifiseres som terskeltrening mellom V1/L1 og V2/L2, laktat mellom 2 mmol/L-1 og 4 mmol/L-1. Sone 3 er trening utført i intensitetsområdet over V2/L2 laktat > 4 mmol/L-1 (Lucia, et al., 1999; Lucia et al., 2003; Seiler & Kjerland, 2006).

1.2.5 Periodisering av trening

Matwejew (1972) var den første som introduserte en modell for periodisering av treningsmengde og treningsintensitet. Modellens hensikt var å vise hvordan varighet, intensitet og treningsbelastning kunne struktureres i en års-syklus for å komme i toppform til ønsket tidspunkt.

Hans modeller ble mye brukt av trenere og utøvere i 1970- og 80årene. Periodiseringsmodellenes hensikt var primært å optimalisere utøverens prestasjonspotensial over tid og redusere risikoen for skader, sykdom

Innledning

og feiltrening (Steinacker et al., 1998; Balyi, 2002; Smith, 2003). Dette ble ivaretatt gjennom systematisk strukturering og variasjon av treningsinnhold, treningsmengde, treningsintensitet og bruk av hensiktsmessige restitusjonstiltak (Issurin, 2008).

Begrepet korttidsperiodisering blir gjerne brukt om hvordan trening planlegges og varieres fra dag til dag innen et kortere tidsrom som for eksempel ei uke. Langtidsperiodisering er endring av variablene treningsmengde og treningsintensitet over et lengre tidsrom som kan vare fra noen uker til flere måneder (Berg, 2003; Seiler, 2010). Korttidsperiodisering er viktig med tanke på at utøveren skal bli restituert etter harde treninger. Dette er med på å holde utøveren frisk. Langtidsperiodisering har til hensikt å utvikle utøverens kapasitet over tid, og å sørge for at utøveren presterer best når dette er ønskelig (Seiler, 2010).

Treningsperioder

Et treningsår, også kalt makro-syklus, kan deles inn i u like treningsperioder (meso-syklyser) (Bompa, 1999). Eksempler på slike treningsperioder kan være: Grunntreningsperiode (eller ressursperiode), konkurranseforberedende periode, konkurranseperiode og restitusjonsperiode (Bompa, 1999). Innenfor hver periode utarbeides egne planer og treningsmål (Smith, 2003). Treningen skifter sjelden fullstendig karakter fra periode til periode. Oftest er det snakk om relativt små endringer i innhold og struktur (Schnabel et al., 2003; Zaryski & Smith,

Innledning

2005). De enkelte treningsperioder kan også deles opp i underperioder. Hovedmålet med grunntreningsperioden er å forberede den generelle og spesifikke aerobe kapasiteten (Frøyd et al., 2005). Matwejews (1972) periodiseringsmodell baserer seg på at treningsmengden (antall kilometer løpt i snitt per uke) er størst i grunntreningsperioden mens treningsintensiteten holdes på et relativt lavt nivå i denne perioden. Innslaget av mer intensiv trening økes i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden. I disse periodene reduseres treningsmengden (Matwejew, 1972). En slik oppbygning av et treningsår, innrettet mot en formtopp, kalles en enkelperiodiseringsmodell. En dobbelperiodiseringsmodell sikter mot to formtopper i løpet av et treningsår. Trenerne til internasjonale maratonløpere på elitenivå anbefaler to formtopper (Ferreira & Rolim, 2006). Treningsperiodene som leder mot hver av formtoppene, makro-syklusene, er igjen delt inn i meso-syklusene: grunntreningsperiode, konkurranseforberedende periode, konkurranseperiode og en restitusjonsperiode etter maratonløpet (Ferreira & Rolim, 2006). Trenerne i studien til Ferreira & Rolim (2006) hadde imidlertid divergerende syn på hvor lenge de ulike meso-syklusene skulle vare. Den største forskjellen mellom trenerne var synet på lengden av de to konkurranseperiodene. Her varierte det mellom 4 og 13 uker i den første syklusen, og mellom 4 og 12 uker i den andre syklusen. Det var imidlertid enighet blant trenerne om at lengden av konkurranseperiodene i en slik dobbelsyklus er avhengig av hvor mange konkurranser utøveren skulle løpe i perioden forut for den aktuelle maratonkonkurransen.

Innledning

Studier som har dokumentert fordeling av treningsmengde og treningsintensitet hos eliteutøvere i utholdenhetsidretter (Gaskill et al., 1999; Tjelta & Enoksen 2001; Schumacher & Mueller, 2002; Midgley, McNaughton & Wilkinson, 2006; Zapico et al., 2007; Guellich, Seiler, & Emrich, 2009) viser til økning av trening med høy intensitet i den konkurransforberedende perioden og i konkurranseperioden. Dette skjer samtidig som stor treningsmengde opprettholdes i større grad enn det som ble skissert i Matwejews klassiske periodiseringsmodell. Dette har også blitt bekreftet av upubliserte case-historier til eliteutøvere og tilbakemeldinger fra trenere (Seiler, 2010). Det bør også nevnes at treningen til de fleste afrikanske løperne i ypperste verdensklasse ikke følger periodiserte treningsplaner (Verhoshansky, 1999).

Oppsummering

Periodiseringsbegrepet og en modell for periodisering av trening ble introdusert av Sovjet-russeren Matwejew (1972). Modellens hensikt var å vise hvordan treningsmengde, treningsintensitet og treningsbelastning kunne struktureres i en årssyklus (makrosyklus) for å komme i toppform til ønsket tidspunkt. Studier som har dokumentert fordeling av mengde og intensitet hos eliteutøvere i utholdenhetsidretter de siste 20 årene viser til økning av trening med høy intensitet i den konkurransforberedende perioden og i konkurranseperioden i tråd med Matwejews klassiske periodiserings-modell. Imidlertid blir treningsmengdene (antall km/uke) til dagens eliteløpere i større grad opprettholdt i den konkurransforberedende perioden og i

Innledning

konkurransesperioden enn det som ble skissert av Matwejews (Gaskill et al., 1999; Tjelta & Enoksen 2001; Schumacher & Mueller, 2002; Midgley, McNaughton & Wilkinson, 2006; Zapico et al., 2007; Guellich, Seiler, & Emrich, 2009)

1.3 Fysiologiske faktorer som påvirker prestasjonsnivået i distanseløp

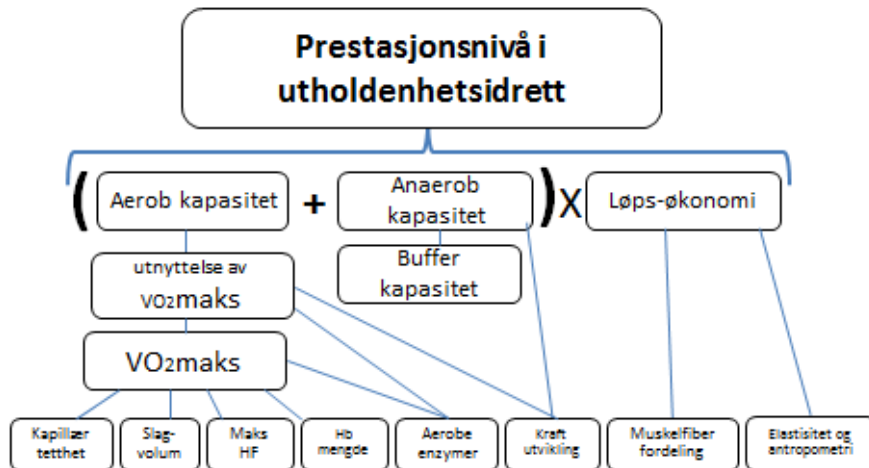
Treningsregimene som har vært nyttet av distanseløpere gjennom historien, har alle hatt for øye at de skal optimalisere prestasjonsnivået til utøverne. For at prestasjonsnivået skal bedres må treningen påvirke de fysiologiske faktorene som ligger til grunn for suksess i distanseløping. Studier har vist at de fysiologiske faktorene: maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}) (Foster, 1983; Noakes, Myburgh, & Schall, 1990; Ingham et al., 2008), løpsøkonomi (LØ) (Conley & Kranenbuhl, 1980; Morgan et al., 1989; Noakes et al., 1990), utnyttingen av det maksimale oksygenopptaket ($\%VO_{2maks}$) (Hallén, 1993; Bassett & Howley, 2000; Noakes, 2001), løpsfart ved anaerob terskel (vAT) (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009; Tolfrey et al., 2009) og løpsfart ved VO_{2maks} (v VO_{2maks}) (Daniels & Scardina, 1984; Bosquet, Leger, & Legros, 2002; Ingham et al., 2008) bestemmer prestasjonsnivået i løpsøvelser fra 1500 m til maraton.

Innledning

Joyner & Coyle (2008) har laget modellen presentert i figur 1 for å beskrive ulike fysiologiske faktorer som bestemmer prestasjonsnivået i distanseløping, løpsdistansene fra 1500 m til maraton.

Når det gjelder bidraget fra aerob og anaerob energiomsetning på ulike løpsdistanser angir ulike studier ulik prosentfordeling. En studie av Busso & Chatagon (2006) har beregnet bidraget fra anaerob og aerob energiomsetning på distansene 1500 m , 3000 m og 5000 m . Når distansen ble løp i hastighet tilsvarende verdensrekorder for menn ble den anaerobe energiomsetningen estimert til å være henholdsvis 24,4 % (1500 m), 12,4 % (3000 m) og 7,5 % (5000 m). Hos franske løpere på nasjonalt nivå som løp noe saktere på de samme distanser var bidraget fra den anaerobe energiomsetningen litt lavere: 1500 m ($22,3 \pm 1,0$ %), 3000 m ($11,4 \pm 0,5$ %) og 5000 m ($6,9 \pm 0,3$ %) (Busso & Chatagnon, 2006). En annen studie, som bruker en litt annen beregningsmåte, antyder en lavere prosentandel anaerob energiomsetning på ulike distanser (Spencer & Gastin, 2001). I denne studien ble energibidraget fra anaerobe prosesser hos 1500 m løpere som løp distansen på 3:55 estimert til å være 16 %. Begge beregningsmåtene setter imidlertid den aerobe energiomsetningen på 1500 m løpt i fart tilsvarende verdensrekord for menn til å være > 75 %. De som bruker lengre tid på å tilbakelegge distansen har høyere aerobt energibidrag.

Innledning



Figur 1: Skjematisk oversikt over ulike fysiologiske faktorer som påvirker hverandre, og som er medbestemmende for prestasjonsnivået i langdistanseløp. Modifisert etter Joyner & Coyle (2008).

1.3.1 Det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks})

Et høyt VO_{2maks} er en forutsetning for å oppnå suksess i utholdenhetsidretter (Saltin & Åstrand, 1967; Coyle, 1995; Midgley, McNaughton, & Wilkinson, 2006; Legaz-Arrese et al., 2011). Legaz-Arrese et al. (2007) undersøkte forholdet mellom VO_{2maks} og høyt prestasjonsnivå på ulike løpsdistanser. Utvalget var 190 spanske løpere (137 menn og 53 kvinner) som konkurrerte på nasjonalt og internasjonalt nivå på distanser fra 100 m til maraton. Løpernes VO_{2maks}

Innledning

økte med lengden av konkurransedistansen fra 100 m til 3000 m. Blant løpere som konkurrerte på distanser fra 3000 m til maraton var variasjonene i VO_{2maks} små. Forfatterne konkluderte med at et høyt VO_{2maks} var en forutsetning for å prestere på nasjonalt og internasjonalt nivå på løpsdistanser fra 3000 m til maraton. Det er imidlertid også funnet stor variasjonen i VO_{2maks} blant løpere på samme prestasjonsnivå som konkurrerer på samme distanser (Conley & Kranenbuhl, 1980; Jacobs, 1986; Sjödín & Svedenhag, 1985).

VO_{2maks} verdier hos eliteløpere

Norske kvinnelige distanseløpere som ble testet på Toppidrettssenteret i Oslo i perioden 1987-1991 hadde gjennomsnittlig VO_{2maks} på $66,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (maks/min: $59\text{-}75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). For menn var snittet i samme periode $74,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (maks/min: $66\text{-}84 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Bahr, Hallén & Medbø, 1991 side 48).

En studie av spanske mannlige eliteløpere innen mellom- og langdistanseløping mellom 2000 og 2008 viser følgende snittverdier for VO_{2maks} (Rabadan et al., 2001): 1500 m ($n = 23$) $67,4 \pm 4,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 5000 m ($n = 20$) $71,4 \pm 3,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ og 10.000 m ($n = 12$) $71,8 \pm 6,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Testene ble tatt i starten av treningsåret som en del av deres screening.

En studie av Ingham et al. (2012) hvor en 1500 m løper på øverste internasjonale nivå ble testet regelmessig over to år viste følgende: Første året når han presterte 3:38.9 på 1500 m som best, var høyeste

Innledning

VO_{2maks} måling 72 ml·kg⁻¹·min⁻¹. I løpet av andre året hevet han VO_{2maks} til 79 ml·kg⁻¹·min⁻¹, og han prestert da 3:32.4 på 1500 m.

En studie av Legaz-Arrese et al. (2011) viste at det ikke var signifikante forskjeller i VO_{2maks} mellom ti maratonløpere og åtte 3000 m hinderløpere på samme relative prestasjonsnivå. Maratonløpere som i snitt løp maraton på 2:12:04 hadde 81,3 ± 4,0 ml·kg⁻¹·min⁻¹ i VO_{2maks} og 3000 m hinder-løperne, med gjennomsnittlig prestasjonsnivå på 8:37.83, hadde 80,5 ± 3,9 ml·kg⁻¹·min⁻¹ i VO_{2maks}.

VO_{2maks} verdiene til kenyanske eliteløpere som ble testet av Billat et al. (2003b) i 2002 og som trente etter en modell med relativt liten mengde og høy intensitet var: Menn (n = 6): 78,4 ± 2,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹, og kvinner (n = 6): 68,6 ± 1,1 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Disse utøverne løp henholdsvis 158 ± 19 km/uke (menn) og 127 ± 8 km/uke (kvinner). Gjennomsnittstid på 10.000m var 28:15 min (± 15 sek) for menn og 32:22 min (± 35 sek) for kvinner. Menn (n = 7) som trente flere km/uke (174 ± 17) med noe lavere intensitet hadde i snitt litt lavere VO_{2maks} (74,7 ± 2,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Disse presterte også i snitt litt dårligere på 10.000 m. Det var imidlertid overlappinger i VO_{2maks} og prestasjonsnivå blant de mannlige løperne i de to gruppene.

Verdensrekordholderen på maraton for kvinner (pr 01.04. 2013), Paula Radcliffe, målte 70 ml·kg⁻¹·min⁻¹ i VO_{2maks} i 2003, året da hun satte verdensrekord på maraton med tiden 2:15:25.

Andre studier har vist VO_{2maks} verdier fra 70 til 85 ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos menn, og mellom 60 og 75ml·kg⁻¹·min⁻¹ hos kvinner som konkurrerer

Innledning

på internasjonalt nivå i distanseløp (Sjöin & Svedenhag, 1985; Noakes, 1986 side 31; Smith, Peltola & Tumilty, 2000).

VO_{2maks} og trening

En rekke studier har forsøkt å gi svar på hvilken treningsintensitet som er best egnet til å øke VO_{2maks} (Midgley, McNaughton & Jones, 2007). Både submaksimale (Tanaka et al., 1986; Billat et al., 2004), maksimale (Billat et al., 2002) og supramaksimale (Franch et al., 1998) treningsintensiteter har vist å kunne øke VO_{2maks} hos distanseløpere. Få studier (Olsen et al., 1998; Franch et al., 1998; Helgerud et al., 2007) har sammenliknet effekten av trening utført på ulike intensitetsnivå. Disse studiene har pågått over kort tid (6-8 uker) og det er middels trente personer som er forsøkspersoner. Dermed er det tvilsomt om en med bakgrunn i slike studier kan gi føringer for hvordan distanseløpere på elitenivå bør trene (Midgley, McNaughton & Jones, 2007).

1.3.2 Løpsøkonomi (LØ)

LØ defineres som utøverens stabile VO₂ på en submaksimal belastning (Costill, Thomsen, & Roberts, 1973; Bassett & Howley, 2000; Saunders, et al., 2004). Med god løpsøkonomi menes at utøveren har et relativt lite forbruk av oksygen ved løp i submaksimal hastighet (Saltin et al., 1995; Svedenhag, 1995; Saunders et al., 2004; Lucia et al., 2006).

Innledning

Allerede i 1930 årene så forskere at det var forskjeller i oksygenforbruket på en gitt fart mellom ulike løpere (Dill, Talbot, & Edwards, 1930). Etter den tid er det i flere studier rapportert stor variasjon i oksygenopptak på submaksimale belastninger blant løpere med likt VO_{2maks} (Morgan & Craib, 1992; Basset & Howley, 2000; Jones, 2006). En bedret løpsøkonomi vil føre til at løpere kan holde en høyere fart med samme oksygenopptak som tidligere.

Enkelte studier har rapportert at høye VO_{2maks} verdier i gang (Sawyer et al., 2010), løping (Morgan & Daniels, 1994) og sykling (Noakes & Tucker, 2004) ofte er assosiert med dårlig arbeidsøkonomi.

Løpsøkonomi hos eliteløpere

Ifølge Jones (2006) er det mest vanlig å teste løpsøkonomien på en submaksimal hastighet av $16 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$. For å kompensere for manglende luftmotstand i laboratoriet sammenliknet med utendørs løping, anbefales det å ha en møllestigning på 1 % (Jones & Doust, 1996). I denne hastigheten kan VO_2 til gode løpere variere fra $45 - 60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Når $L\ddot{O}$ uttrykkes i $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ blir 200 be traktet som et gjennomsnitt. Verdier under og over dette snittet er uttrykk for henholdsvis god og dårlig løpsøkonomi (Jones, 2006).

Weston et al. (2000) sammenliknet eliteløpere fra øst-Afrika med europeiske eliteløpere. Ved løp i en hastighet av $16,1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ var VO_2 i snitt henholdsvis 187,5 og $190 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ for øst-afrikanske og europeiske løpere.

Innledning

I en studie hvor en sammenliknet en gruppe mannlige spanske langdistanseløpere med en gruppe langdistanse eliteløpere fra Eritrea (Lucia et al., 2006), fant en ingen signifikant forskjell i VO_{2maks} mellom de to gruppene. LØ var imidlertid signifikant bedre blant de eritreiske løperne. Den eritreiske løperen som ble verdensmester på 12 km terrengløp i 2007, brukte kun $150 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ når han løp i hastigheter av 17, 19 og $21 \text{ km} \cdot \text{time}^{-1}$. Dette skal være lavest O_2 opptak som er rapportert i disse hastigheter (Lucia et al., 2008).

1500 m løperen som i studien til Ingham et al. (2012) forbedret sin bestetid fra 3:38.9 til 3:32.4 fra ett år til neste, bedret i samme periode LØ fra 210 til $206 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$.

I studien til Rabadan et al. (2011) hvor testdata, på spanske mellom- og langdistanse eliteløpere (alle menn, $n = 72$), fra 2000 – 2008 er publisert, oppgis følgende verdier for LØ: 1500 m løpere ($n = 25$): $190,7 \pm 31,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, 5000 m løpere ($n = 20$): $219,7 \pm 37,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, og 10.000 m løpere ($n = 12$): $203,1 \pm 31,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$. I denne studien ble løperne testet med en møllestigning på 1 %.

Løpsøkonomi og trening

God LØ blir ofte rapportert blant erfarne langdistanseløpere som over tid har løpt mange km/uke (Conley et al., 1984; Pate et al, 1992). LØ til Paula Radcliffe, den kvinnelige verdensrekordholderen på maratondistansen (pr 01.04. 2013), bedret seg gradvis fra $204 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ i 1992 til $175 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ i 2003. Løpsøkonomien er testet ved

Innledning

løp på tredemølle hvor hastigheten var $16 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$ og stigningen på mølla 1 % (Jones, 2006). Hennes $\text{VO}_{2\text{maks}}$ var relativt stabilt i samme periode. Jones (2006) antydte at mange år med mye løping hadde hatt positiv virkning på løpsøkonomien. Han mente også at styrke- og spensttrening kunne ha vært med på å bedre LØ. I en vertikal spensttest forbedret Radcliffe seg fra 29 cm i 1996 til 38 cm i 2003. Også andre studier peker på at spensttrening kan bedre LØ og prestasjonsnivået i distanseløp (Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2004).

Enkelte studier viste ingen bedring av LØ etter en periode med utholdenhetstrening (Overend, Paterson, & Cunningham, 1992; Lake & Cavanagh, 1996). Dette kan skyldes at disse studiene ikke pågikk over lang nok tid til å påvirke LØ. Studier har også vist bedring av LØ hos løpere som følge av intervalltrening (Franch et al., 1998; Billat et al., 1999; Laffite et al., 2003) og trening i intensitetsområdet ved anaerob terskel (Sjödín, Jacobs & Svedenhag, 1982).

Johnston et al. (1995) undersøkte effekten av et 10 uke rs generelt styrketreningsprogram på et utvalg av fysiologiske variabler. Forsøkspersonene var utholdenhetstrener, kvinnelige løpere uten tidligere erfaring med styrketrening. Styrketreningen førte til en styrkeøkning på 24 % i øvelser som involverte muskelgrupper i overkroppen, og 34 % for øvelser hvor beina ble brukt. I løpet av de 10 ukene studien varte, så man ingen endringer i kroppsvekt, fettfri kroppsmasse, prosentandel kroppsfett eller muskelomkrets. Etter treningsperiodens slutt fant man ingen signifikant økning i $\text{VO}_{2\text{maks}}$,

Innledning

men LØ på en gitt submaksimal belastning hadde bedret seg med 4 %. Forskerne antydet at den økte styrken førte til høyere mekanisk effektivitet og bedret rekrutteringsmønster av de motoriske enhetene.

Praktisk erfaring og forskning antyder at LØ til en viss grad er avhengig av intensiteten på gjennomført trening (Franch et al., 1998; Jones & Carter, 2000; Noakes, 2003; Berg, 2003). Daniels & Daniels (1992) gjennomførte en komparativ studie av mellomdistanseløpere og maratonløpere. Hensikten var å se om det var forskjeller i LØ i konkurransefart. Resultatene viste at maratonløpere hadde bedre LØ i maratonfart enn mellomdistanseløpere. I 1500 meter fart hadde mellomdistanseløperne best LØ. Forskjeller i løpsfart på trening og konkurranser kan forklare resultatene, og antyder viktigheten av å trene i konkurransefart (Robinson et al., 1991; Berg, 2003). Dette kan også være grunnen til at utholdenhetstrening med høy intensitet har blitt rapportert å gi effekt på LØ hos godt trente utøvere (Conley et al., 1984; Franch et al., 1998; Jones & Carter, 2000; Slawinski et al., 2001; Smith, 2003; Denadai et al., 2006).

Sjödín & Svedenhag (1986) studerte effekten av spesifikk utholdende styrketrening og hurtighetstrening for godt trente langdistanseløpere. I tillegg til sitt normale treningsprogram gjennomførte disse løperne også steghopp («sprunglauf») i en 400m lang asfaltbakke eller sprinttrening. Steghopp hvor bevegelseshastigheten er lavere enn ved normal løping, hadde best effekt på LØ ved en løpshastighet tilsvarende 4.00 min per km, mens sprinttreningen hadde best effekt på

Innledning

LØ ved en løpshastighet på 3.00 min per km. Løperne i studien bedret sin LØ med 1-5 %. For to av løperne som hadde trent steghopp kunne en registrere redusert O₂ forbruk på henholdsvis 8 og 12 % ved hastighet 4:00 min per km. Det bør tilføyes at 4.00 min per km er mye saktere enn konkurransefarten på alle løpsdistanser fra 1500 m til maraton. Mannlige maratonløpere på internasjonalt toppnivå har en konkurransefart rundt 3:00 min per km.

1.3.3 Utnyttingsgrad (%VO_{2maks})

%VO_{2maks} er den gjennomsnittlige prosentandelen av VO_{2maks} en løper kan opprettholde over en gitt distanse eller tidsperiode (Bassett & Howley, 2000; Impellizzeri et al., 2005). Grunnet metodiske problemer knyttet til det å teste %VO₂ under konkurranser, blir indirekte testmetoder brukt. Den gjennomsnittlige prosentandelen av VO_{2maks} en løper utnytter ved vAT blir ofte brukt som uttrykk for %VO_{2maks} (Svedenhag, 2000; Impellizzeri et al., 2005).

Det er funnet nær sammenheng mellom %VO_{2maks} ved v AT og %VO_{2maks} i konkurranser (Joyner, 1991; Svedenhag, 2000). Gode distanseløpere kan opprettholde løpsfarten ved VO_{2maks} fra fem til sju minutt (Billat, 1996; Bosquet et al., 2002). Når løpstiden overstiger sju minutt vil %VO_{2maks} avta med økende konkurranse lengde og konkurransetid (Saltin & Åstrand, 1967). Dette betyr at %VO_{2maks} er en viktig faktor når det gjelder lengre løpsdistanser som halv-maraton og maraton (Noakes, 2001). Mannlige eliteløpere og løpere på godt nivå,

Innledning

som løper maraton mellom 2:05 og 3:00 timer, utnytter en større %VO_{2maks} i snitt gjennom et maratonløp, enn løpere som tilbakelegger distansen mellom 3:25 og 4:00 timer. For nevnte grupper løpere var %VO_{2maks} gjennom et maratonløp: 85-80 % (elite- og gode løpere) og 70-60 % (løpere som presterer mellom 3:25 og 4:00 timer) (Sjödin & Svedenhag, 1985; Bassett & Howley, 2000).

%VO_{2maks} hos eliteløpere

Studier av kenyanske eliteløpere (n = 6) som løp 10.000m på 28:15 ± 15 sek, viste at %VO_{2maks} var 93,7 ± 1,9 % når de løp i 10.000 m fart (Billat et al., 2003b). Dette samsvarer med funn av Coetzer et al. (1993) som over samme distanse rapporterte %VO_{2maks} = 92 % hos løpere fra Sør-Afrika. Ved løp i en fart tilsvarende vAT var %VO_{2maks} hos to grupper av mannlige kenyanske langdistanseløpere henholdsvis 89,0 ± 2,5 % (n = 6) og 91,8 ± 1,2 % (n = 7) (Billat et al., 2003b).

%VO_{2maks} og trening

For å oppnå gode prestasjoner i aerobe utholdenhetsidretter, må utøveren arbeide så nær VO_{2maks} som mulig (Svedenhag, 2000; Bosquet et al., 2002). I homogene utøvergrupper er det ikke nødvendigvis sammenheng mellom %VO_{2maks} og prestasjon (Weston et al, 2000; Billat et al., 2003b). Utøvere på høyt prestasjonsnivå har ofte en høy %VO_{2maks} (Svedenhag, 2000).

En studie på 15 t opptrente syklister (Impellizzeri et al., 2005) viste signifikant sammenheng ($p < 0,05$, $r = 0,66$) mellom %VO_{2maks} og

Innledning

prestasjonsevnen i sykling. I denne studien ble det ikke funnet sammenheng mellom VO_{2maks} og prestasjonsnivå. Blant maratonløpere på ulike nivå er det funnet tilsvarende korrelasjon ($p = 0,05$, $r = -0,94$) mellom $\%VO_{2maks}$ ved løp i fart $15 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og prestasjonsnivå (Sjödín & Svedenhag, 1985).

1.3.4 Løpsfart ved anaerob terskel (vAT)

Selv om forskning peker på at laktatproduksjon snarere forsinker muskulær tretthet enn forårsaker den, og at muskulær tretthet forårsakes av andre faktorer enn laktat (Robergs, Ghiasvand & Parker, 2004), er det likevel slik at laktatproduksjon sammenfaller med muskulær tretthet (Robergs et al., 2004; Jones, 2006). Det er observert nær sammenheng mellom laktatmetabolisme og prestasjonsnivå i utholdenhetsidretter (Maffulli, Capasso, & Lancia, 1991; Jones & Carter, 2000; Tolfrey, et al., 2009). Forholdet mellom laktatnivå og arbeidsbelastning er derfor ofte brukt for å kartlegge og forutsi prestasjonsnivået i distanseløping (Jones, 2006; Faude et al., 2009). Anaerob terskel (AT) blir gjerne definert som høyeste arbeidsbelastning under kontinuerlig dynamisk arbeid, hvor store muskelgrupper blir brukt og hvor det er balanse mellom produksjon og eliminering av laktat (Billat et al., 2003a; Midgley et al., 2006).

Innledning

Krav til vAT hos eliteløpere

Ulike kriterier og metoder har vært brukt for å estimere AT (Faude et al., 2009), men det er ved alle metoder observert samsvar mellom vAT og prestasjonsnivået i langdistanseløping (Yoshida et al., 1990; Maffulli et al., 1991; Nicholson & Sleivert, 2001). Ifølge Billat et al., (2003a) er oksygenopptaket ved vAT hos eliteløper ca. 85 % av VO_{2maks} . vAT er en løpsfart som godt trente distanseløper kan opprettholde i ca. en time (Billat et al., 2003a). Grunnet ulike testmetoder er det vanskelig å angi eksakte verdier for vAT som samsvarer med prestasjoner på ulike distanser.

vAT og trening

I en studie av Maffulli et al., (1991) fant en korrelasjon mellom vAT og prestasjonsnivå på distanser fra 5000 m til maraton, men mellom vAT og prestasjonsnivå på 800 m og 1500 m var det ikke korrelasjon. Dette antyder at store treningsmengder påvirker vAT. Jones (2006) viser også til økning av vAT hos en kvinnelige eliteløper som følge av mange år med store treningsmengder. Lehmann et al. (1991) rapporterte økt vAT som følge av større treningsmengde ved og under AT hos distanseløpere. Andre studier har rapportert økt vAT som følge av mer trening i hastigheter over AT (Tanaka et al., 1986; Billat et al., 2004). Midgley et al. (2007) peker på at det er vanskelig på bakgrunn av forliggende forskning å si noe om hvilken type trening som best påvirker vAT. Dette fordi foreliggende forskning er begrenset og i stor grad motstridende.

1.3.5 Løpsfart ved VO_{2maks} (vVO_{2maks})

vVO_{2maks} (velocity at VO_{2maks}) uttrykker løpsfarten hvor en løper når sitt VO_{2maks} . Begrepet vVO_{2maks} ble først introdusert i 1980-årene av Daniels & Scardina (1984). vVO_{2maks} er en god indikator på prestasjonsnivået i distanseløping (Bosquet et al., 2002).

En studie av Legaz-Arreze et al. (2011) hvor ti mannlige maratonløpere på nasjonalt nivå (gjennomsnittlig prestasjonsnivå: 2:12:00) ble sammenliknet med 8 mannlige 3000 m hinderløpere på tilsvarende nivå (gjennomsnittlig prestasjonsnivå: 8:37.83), fant man at vAT korrelerte best med prestasjonsnivået på maraton. vVO_{2maks} var imidlertid den variabelen som korrelerte best med prestasjonsnivået på 3000 m hinder.

Krav til vVO_{2maks} hos eliteløpere

Svakheten ved vVO_{2maks} som parameter på prestasjonsnivå i distanseløping, er at det ikke foreligger standardiserte protokoller for bestemmelse av vVO_{2maks} (Bosquet et al., 2002). Jones (2006) brukte en protokoll bestående av 7-9 arbeidsperioder a 3 min med gradvis økende belastning da han fra 1992 til 2003 testet den kvinnelige distanseløperen Paula Radcliffe. Belastningsøkningen mellom hver arbeidsperiode var $1 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og stigningen på tredemølla 1%. Det var 20-30 sek pause mellom hver 3 min belastning. Pausen ble nytte til laktatprøvetaking. Ved denne typen protokoll var i 1992 vVO_{2maks} $20,5 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og i 2003 $23,5 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Hun hadde $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ i VO_{2maks} både i 1992 og i 2003. Økningen i vVO_{2maks} var primært et resultat av bedre løpsøkonomi (Jones, 2006). Ved tilnærmet samme type protokoll

Innledning

som ble brukt av Jones (2006), testet Legaz-Arrese et al. (2011) ti mannlig maratonløpere og åtte 3000 m hinder-løpere. Gjennomsnittlig prestasjonsnivå var: maraton 2:12:04 og 3000m hinder 8:37.83. Gjennomsnittlig vVO_{2maks} for maratonløperne var $21,7 \pm 0,5 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og for 3000 m hinder-løperne $22,7 \pm 0,8 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$.

Billat et al. (2003b) antyder at en kvinne som løper maraton rett under 2:20:00 har vVO_{2maks} tett opp mot $21 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Når kenyanske kvinnelige langdistanseløpere på elitenivå ble testet i konkurranser, estimerte Billat et al. (2003b) deres vVO_{2maks} til å være ca. $20 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Ved løp på tredemølle uten stigning fikk de grunnet manglende luftmotstand, høyere vVO_{2maks} , ca. $21 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$.

Trening som påvirker vVO_{2maks}

God sammenheng mellom vVO_{2maks} og prestasjonsnivå i kortere distanseløping (1500 m, 3000 m, og 3000m hinder) skyldes sannsynligvis at vVO_{2maks} i tillegg til å være bestemt av VO_{2maks} , også er bestemt av $\%VO_{2maks}$, LØ og utøverens anaerobe kapasitet (Bosquet et al., 2002). En studie av Billat et al. (2003b) viste at løpere som fulgte et treningsregime med relativt lav treningsmengde og høy intensitet, i snitt hadde litt høyere vVO_{2maks} enn de som trente etter et regime med større treningsmengde og lavere intensitet. Det var imidlertid overlappinger mellom gruppene.

1.3.6 Oppsummering

Litteraturen peker på at de som presterer på høyt nivå i distanseløping har høyere vAT enn de som presterer på et lavere nivå (Tolfrey et al., 2009), og at prestasjoner i distanseløping også påvirkes av variablene VO_{2maks} , $LØ$, $\%VO_{2maks}$ og vVO_{2maks} (Billat et al., 2003b; Jones, 2006; Joyner & Coyle, 2008; Legaz-Arreze et al., 2011). Når det gjelder hvilken type trening som er best egnet til å bedre de ulike variabler som påvirker prestasjonsnivået i distanseløping konkluderer Midgley, McNaughton & Jones (2007) i en review artikkel med følgende: 1) Relativt få studier har omhandlet eliteløpere, og metodiske forhold ved disse studiene har ofte gjort tolkningen av funnene vanskelig. For eksempel, det er oftest ikke inkludert en eller flere treningsøkter i tillegg til løpene «vanlige treningsregime». Deres «vanlige treningsregime» er typisk ikke beskrevet, eller mangelfullt beskrevet. 2) Kun få studier har inkludert mer enn en eksperimentgruppe. Dermed er det vanskelig å sammenlikne effekten av treningsintervensjoner. 3) Mye av dagens kunnskap om respons på trening bygger på studier av utrente og moderat trente personer. Å bruke denne kunnskap til å gi anbefalinger om hvordan eliteløpere bør trene er neppe valid. 4) Forskere bør være forsiktige med å gi treningsanbefalinger til trenere og eliteutøvere på bakgrunn av begrenset tilgjengelig forskningsbasert kunnskap.

2 Forsøkspersoner og metode

2.1 Forsøkspersoner

Forsøkspersonene i denne avhandlingen er mellom- og langdistanseløpere på nasjonalt og internasjonalt nivå. De har alle (med unntak av GW) vært deltakere i ulike prosjektgrupper i regi av Norges Friidrettsforbund (NFIF) i perioden 1994 til 2010. Alle 12 løperne som er inkluderte i studiene i artiklene I, II, III og IV, har representert Norge på junior- eller seniornivå i internasjonale mesterskap. Ni av de 12 har medaljer i Europamesterskap for seniorer, juniorer eller ungdom < 23 år. Blant de resterende tre har to plasseringer blant de ti beste i Europamesterskap for seniorer. Den 12 utøveren var i en treårsperiode Nordens beste kvinnelige terreng- og maratonløper.

Blant de 34 løperne inkludert i artikkel V er 22 menn og 12 kvinner. De 12 kvinnene konkurrerte på distanser fra 1500 m til maraton. De har alle representert Norge i internasjonale mesterskap. Blant menn er 10 mellomdistanseløpere med 800 m som primærdistanse. De øvrige 12 er klassifisert som distanseløpere og har 1500 m, 3000 m eller 5000 m som primærdistanse. De fleste løperne er testet flere ganger. Testen hvor den enkelte løper oppnådde høyeste vAT er inkludert i artikkel V. I sesongen løperne utførte testen inkludert i denne studien var snittiden på 3000 m for kvinnene 9:16.9 (n = 11) og snittiden på halvmaraton 1:11.04 (n = 5). De mannlige 800 m løperne hadde i snitt 1:52.32, og

Forsøkspersoner og metode

distanseløperne oppnådde følgende snittider på distansene 3000 m og 5000 m: 8:23.43 (n = 9) og 14:55.25 (n = 7).

Alle løperne inkludert i artikkel I-V har gitt samtykke til at deres personlige trenings- og testdata kan brukes i vitenskapelig forskning.

2.2 Analyse av treningsdagbøker

Treningen som er dokumentert i de enkelte utøveres treningsdagbøker ble analysert for å finne ut; (a) hvor mange kilometer utøverne løp i snitt per uke i ulike perioder av et treningsår; (b) hvor mange økter utøverne gjennomførte i ulike perioder av et treningsår; (c) på hvilke intensiteter ble treningen utført og; (d) hvor mange konkurranser løperne deltok i gjennom et år.

Trening utført på et gitt intensitetsnivå er snittet av antall km/uke som er gjennomført på dette intensitetsnivå i løpet av en treningsperiode. Hvor mange prosent dette utgjør av den totale kilometermengden som i snitt er løpt per uke i løpet av samme treningsperiode, uttrykkes som prosent trening i den aktuelle sonen.

2.2.1 Intensitetssoner

Analysene av GWs trening i artikkel III er analysert etter Olympiatoppens 8-delte skala tilpasset GWs treningsregime (Frøyd et al., 2005). Analysene av løperne i artikkel II ble foretatt etter en

Forsøkspersoner og metode

modifisert versjon av Olympiatoppens 8-delte intensitetsskala. Den modifiserte skalaen inneholder syv soner, fem aerobe soner (1-5) og to anaerobe (6 og 7). Treningssonen som i en 8-delt skala blir karakterisert sone 7 er tatt vekk ettersom langdistanseløperne i artikkel II aldri rapporterte trening i denne sonen. I artikkel I og IV er treningen til fire juniorutøvere (artikkel I) og Henrik Ingebrigtsen (artikkel IV) analysert etter en skala med tre aerobe intensitetssoner (Esteve-Lanao et al., 2005; Seiler & Kjerland, 2006) og to anaerobe soner. Jeg vil senere i resultatdelen klassifisere treningen til utøverne i artikkel I, II, III og IV i en skala med tre aerobe og to anaerobe intensitetssoner (se tabell 2). Dette gjør det enklere å sammenlikne intensitetsfordelingen av treningen som er dokumentert i de ulike artiklene med treningsdata som er rapportert i tidligere studier (Esteve-Lanao et al., 2005; Seiler & Kjerland, 2006; Seiler & Tønnessen, 2009).

2.2.2 Hjerterefrekvens, laktat og fart

Registrert trening har blitt analysert og klassifisert i intensitetssoner ut fra HF i % av HF_{maks} , laktat og fart. Det er analysatoren Lactate Pro LT-1710TM som er brukt når utøverne i artiklene I, II og IV har målt laktat under trening. Laktatmålingene i artikkel V er imidlertid gjort med YSI analysator. Når en sammenlikner målinger med YSI analysator med målinger gjort med Lactate Pro, vil YSI verdiene være 67 % av Lactate Pro verdiene ved samme hastighet (Medbø, et. al., 2000). M.a.o. vil en utøver som ved vAT måler $3,4 \text{ m mol/L}^{-1}$ med

Forsøkspersoner og metode

Lactate Pro, måle ca. 2,3 mmol/L⁻¹ med YSI analysator. På Universitetet i Stavanger er det gjort flere tester og målinger med Lactat Pro LT-1710TM av utøver B i artikkel II og HI etter samme prosedyrer som beskrevet i artikkel V. Hastigheten ved AT (vAT) er da beskrevet som den løpsfarten hvor laktatverdiene er 2,1 mmol/L⁻¹ over hvileverdi (Mamen, Laparidist, & van den Tillaar, 2011). For nevnte to utøvere har laktatverdiene ved vAT typisk vært mellom 3,0 og 3,2 mmol/L⁻¹. HF ved vAT har vært ca. 90 % av HF_{maks} og %VO_{2maks} ved vAT har vært ca. 85 %. Dette er i samsvar med det Billat et al. (2003a) hevder er %VO_{2maks} ved AT for distanseløpere på elitenivå.

Tre av fire juniorløpere omtalt i artikkel I brukte HF-målere på all trening, og den fjerde ofte under intervalltrening. De tre som målte HF, målte også laktat når de løp intervalltrening. HF og laktat målt på trening ble registrert i treningsdagbøkene. En av tre maratonløpere og to av baneløperne omtalt i artikkel II målte HF på de fleste treninger. Disse tre brukte også laktatmåling for å registrere intensitet på de fleste intervalltreninger. De to andre maratonløperne målte HF på enkelte økter. Alle løperne i artiklene I og II hadde fått HF og laktatproduksjon kalibrert i forhold til løpsfart på landslagssamlinger i regi av NFIF. Alle utøverne i artiklene I og II registrerte tid og distanse på all løpstrening.

Grete Waitz (artikkel III) brukte ikke HF-måler når hun trente. I 1970- og 1980-årene var heller ikke laktatmålinger tatt i bruk. GW registrerte lengde og tid brukt på ulike treninger. Løpsfart på ulike

Forsøkspersoner og metode

treningsdistanser, sett i forhold til prestasjonsnivå, er lagt til grunn for registrert trening i ulike intensitetssoner.

Henrik Ingebrigtsen (artikkel IV) har registrert HF på alle løpsøker fra han var 15 år. Han har også målt laktat på alle intervalløkter fra og med sesongen 2008.

2.3 Tester av eliteløpere

2.3.1 Anaerob terskel test (AT test)

Etter 15 - 20 min oppvarming på en hastighet som var en kilometer per time saktere en første belastning i AT testen, ble testen startet. AT testen ble foretatt på tredemølle på Toppidrettssenteret i Oslo hvor en brukte en protokoll bestående av 5 · 5 min løping på gradvis økende hastighet, fra ca. 60 % til ca. 95 % av VO_{2maks} . Målet var å nå AT mellom fjerde og femte belastning. Starthastigheten for hver løper ble beregnet ut fra løperens prestasjonsnivå og eventuelt tidligere tester av samme løper. Tredemølle av merke Woodway (ELG 2, Weil am Rhein, Tyskland) ble brukt som ergometer. For å kompensere for manglende luftmotstand ved tredemølleløping, sammenliknet med utendørs løping, ble det brukt en møllestigning på 1,7 %. Mellom hver fem minutters arbeidsbelastning var det 30 sek pause før hastigheten ble økt med $1,5 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. Til måling av blodlaktat etter hver arbeidsbelastning ble det tatt en liten blodprøve fra løperens fingertupp som ble analysert for konsentrasjon av laktat $[\text{La}^-]$. Fingeren ble vasket før prøvetaking.

Forsøkspersoner og metode

Første bloddråpen ble tørket vekk for å minimere sannsynligheten for at svette skulle påvirke prøven. Blod fra finger ble overført til ett eller to hematokritrør og blodprøven ble umiddelbart overført til instrumentets miksekammer ved hjelp av en 20 µL pipette (YSI modell 1501). Brukermanualen understreker at testleders presisjon og membranens kvalitet avgjør laktatmålingenes nøyaktighet. Alle tester som det refereres til i artikkel V, er foretatt av en av to testledere på Toppidrettssenteret som har lang erfaring med denne typen tester.

Laktatanalysatoren (YSI, 23L, Ohio, USA) ble kalibrert mot 5 mmol·L⁻¹ laktat standardløsning. Instrumentet ble også sjekket mot 15 mmol·L⁻¹ laktat standardløsning for å kontrollere lineariteten mot høye verdier. Teknisk manual anslår måleusikkerheten for laktatverdier mellom 0 og 5 mmol·L⁻¹ til å være ± 2 % og ± 3 % for laktatverdier mellom 5 og 15 mmol·L⁻¹. Hastigheten ved AT (vAT) ble definert som den løpshastighet hvor [La⁻] var 1,5 mmol·L⁻¹ høyere enn oppvarmingsverdien (Dickhuth et al., 1999; Helgerud, Ingjer, & Strømme, 1990).

De siste to minutt av hver arbeidsbelastning ble løperens O₂ opptak målt. Løperen fikk da påsatt nese-klype. Via munnstykke og toveis ventil (Hans Rudolf, Inc., Kansas City, USA) ble løperen koblet til oksygenanalysatoren (Eos Sprint eller Oxycon Pro). Analysator av typen Eos sprint ble brukt ved målinger foretatt før 8. juni 2002. Etter dette ble Oxycon Pro brukt. Samme analysator er brukt for hver enkelt utøver når utøveren har blitt testet flere ganger. Før testing ble analysatoren kalibrert i forhold til luft i teststrømmet og i forhold til

Forsøkspersoner og metode

sertifiserte kalibreringsgasser. Hensiktsmessig ventilasjon sørget for at luftsammensetningen i laboratoriet var den samme som utendørs.

Løpsøkonomi (LØ)

Løpsøkonomien (LØ) ble definert som $VO_2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ved $16 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ for alle tester hvor løperen hadde $vAT > 16.0 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. For løpere med $vAT < 16 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$, er $LØ = VO_2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ved løp i hastighet $15 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$. For kvinner med $vAT < 15 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$, er $LØ = VO_2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ved løp i hastighet $14 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$.

VO_{2maks} test

Etter å ha fullført AT testen hadde løperen 5 min aktive pause før VO_{2maks} testen. Møllestigningen på 1,7 % ble opprettholdt. Testen startet med 1 min løping i samme hastighet som siste arbeidsbelastning i AT testen. Deretter ble hastigheten økt med $1 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ hvert min til løperen nådde en hastighet han følte han/hun kunne opprettholde i minst ytterligere ett min. Herfra ble det løpt til utmattelse. Det bør tilføyes at denne prosedyren kunne variere noe fra test til test. Opplevd utmattelse og ingen økning i $V O_2$, til tross for økning av løpshastigheten, var hovedkriterier for at VO_{2maks} var nådd. Høyeste gjennomsnittlige VO_2 i løpet av et min ble definert som VO_{2maks} .

Utnyttingsgraden av VO_{2maks} ($\%VO_{2maks}$)

Den gjennomsnittlige prosentandelen av VO_{2maks} som løperen utnyttet ved vAT ble brukt som uttrykk for $\%VO_{2maks}$.

Forsøkspersoner og metode

Statistikk

Testen med høyest vAT for hver enkelt løper ble brukt i de deskriptive statistiske analysene. Standard multiple regresjonsanalyse ble benyttet for å beregne i hvor stor grad vAT ble bestemt av de tre variablene, VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$. Korrelasjonsanalyser med Pearsons r ble brukt for å beregne korrelasjon mellom vAT og hver av de tre variablene: VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$.

Når korrelasjon mellom vAT og variablene: VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$ blant de beste kvinner og menn ble beregnet, ble bare kvinner med vAT $> 16 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ og menn med vAT $> 17 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ inkludert. Variasjonskoeffisienten ble brukt for å sammenlikne variasjon i VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$. En p -verdi $< 0,05$ ble betraktet som statistisk signifikant, og en p -verdi mellom 0,05 og 0,1 ble betraktet som å vise en tendens. Alle statistiske analyser ble utført ved å bruke PASW Statistics 18 for Windows (IBM Corporation, Route, Somers, NY, USA).

3 Resultater

3.1 Treningsmengde og treningshyppighet

Tabell 3 viser treningsmengde i form av km/uke i ulike perioder av et treningsår (en sesong). For de fire juniorutøverne omtalt i artikkel I er treningsperiode 1 månedene januar, februar, mars og april. Treningsperiode 2 er månedene mai, juni, juli og august og treningsperiode 3 er månedene september, oktober, november og desember. Treningsperiode 3 er treningsperioden i forkant av Europamesterskapet i terrengløp.

For langdistanse- og maratonløperne omtalt i artikkel II er treningsperiode 1 månedene november, desember, januar og februar. Treningsperiode 2 er månedene mars og april. Treningsperiode 3 er månedene mai, juni, juli og august.

For Grete Waitz (artikkel III) er treningsperiode 1 perioden fra 1. november 1978 til slutten av februar 1979. Treningsperiode 2 er ni treningsuker fra 1. mars til 6. mai 1979 og treningsperiode 3 er ni uker fra 21. oktober til 23. desember 1979.

For Henrik Ingebrigtsen (artikkel IV) er treningsperiode 1 månedene november og desember 2011. Treningsperiode 2 er perioden fra 1. januar til midten av mars 2012. Treningsperiode 3 er konkurranseperioden fra midten av mars til ut august 2012. Tabell 4 viser antall løpsøker i snitt per uke i treningsperioden desember - mars, perioden hvor treningsmengden typisk er høyest.

Resultater

Tabell 3: Km/uke i ulike perioder av et treningsår for løperne omtalt i artiklene I, II, III og IV.

	Treningsperiode 1	Treningsperiode 2	Treningsperiode 3
Juniorer: Artikkel I	132,5 ± 25,9 km (januar-april) n = 4	115,1 ± 22,9 km (mai-august) n = 4	145 ± 22,9 km (september-desember) n = 4
Langdistanse- løpere: Artikkel II	161 ± 11 km (november-februar) n = 2	167 ± 3 km (mars-april) n = 2	148 ± 16,1 km (mai-august) n = 3
Maratonløpere: Artikkel II	186 ± 25,7 km (november- februar) n = 3	187,6 ± 18,9 km (mars-april) n = 3	*173,3 ± 5,9 km (mai-august) n=3
GW 1979: Artikkel III	121 km (november-februar)	120km (mars-6. mai)	132 km (21.oktober-23. desember)
HI 2012: Artikkel: IV	146 km (november- desember)	156 km (januar- medio mars)	145 km (medio mars-august)

*For maratonløperne er treningsperiode 3 snittet av treningsmengden i de siste fem ukene før maratonkonkurransen i et internasjonalt mesterskap.

Tabell 4: Gjennomsnittlig antall løpsøker per uke i perioden desember - mars for løperne omtalt i artiklene I, II, III og IV.

4 Juniorer i 2008 (artikkel I)	11 ± 2
3 Langdistanseløpere (artikkel II)	13 ± 1
3 Maratonløpere (artikkel II)	13 ± 1
Grete Waitz (artikkel III)	10 ± 2
Henrik Ingebrigtsen 2012 (artikkel IV)	13 ± 1

3.2 Fordeling av treningsintensitet

I tabell 5 er km/uke i ulike treningsperioder fordelt på tre aerobe- og to anaerobe intensitetssoner.

Sone 1 karakteriseres som rolig løping i hastigheter $< LT_1/VT_1$ og laktatnivå $< 2 \text{ mmol/L}^{-1}$, målt med Lactate Pro. For løperne i denne avhandlingen vil det si at de løper med en HF som er fra 65-82 % av HF_{maks} . For alle løperne omtalt i artiklene I, II, III og IV blir treningen i denne sonen utført som langkjøring (kontinuerlig løping).

Treningen i sone 2 karakteriseres som «terskel trening». Treningen foregår mellom LT_1/VT_1 og LT_2/VT_2 (Seiler & Tønnessen, 2009). Laktatverdier målt med Lactate Pro ligger mellom 2.0 og 4.0 mmol/L^{-1} og HF er i området 82-92 % av HF_{maks} . I dette intensitetsområdet løper alle utøverne, med unntak av Grete Waitz, lange intervallserier med relativt kort pause. GW løp terskeltrening i form av hurtig langkjøring eller progressiv langkjøring i denne sonen. Under en 15 km progressiv tur ble første 7 km vanligvis løpt i sone 1 og siste del i sone 2. Ettersom GW ikke målte HF under trening har det vært knyttet noe usikkerhet til hvor mye av hennes trening som skal føres i sone 1 og i sone 2. Den kvinnelige langdistanseløperen i artikkel II (løper C) løp også 1-2 ukentlige sone 2 økter i grunntreningsperioden som hurtig langkjøring. Hun løp i tillegg en økt med langintervalltrening i sone 2 eller 3.

Sone 3 er aerob trening med høy intensitet $> LT_2/VT_2$ (Seiler & Tønnessen, 2009) og laktatverdier er typisk mellom 4.0 og 6.0

Resultater

mmol/L⁻¹. Hjerterefrekvensen er typisk 92-97 % av HF_{maks}. Trening i denne sonen blir utført som intensiv aerob intervalltrening. Sone 4 er anaerob trening i 800 m og 1500 m fart eller konkurranser på distansene 800 og 1500 m. Sone 5 er sprint og stigningsløp. I tabell 5 er prosentfordelingen av trening i de to anaerobe sonene (4 og 5) slått sammen.

Tabell 5: Prosentvis fordeling av trening utført på ulike intensitetsnivå, i ulike perioder av et treningsår, for løperne omtalt i artiklene I, II, III og IV.

	Treningsperiode 1				Treningsperiode 2				Treningsperiode 3			
	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4+5	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4+5	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4+5
Juniorer	78,3 ± 4,7	19,7 ± 5,4	1,4 ± 1,4	0,6 ± 0,2	81,4 ± 3,9	11,7 ± 3,3	4,8 ± 3,2	2,1 ± 1,0	78,1 ± 6,9	17,9 ± 5,9	2,9 ± 3,5	1,1 ± 0,3
Lang- distanse *	76,4 ± 1,6	19,6 ± 1,1	2,7 ± 1,5	1,3 ± 0,2	79 ± 2	14,6 ± 1,1	1,7 ± 1,7	4,7 ± 0,6	80,8 ± 2,1	13,1 ± 2,0	4,0 ± 2,0	2,1 ± 0,5
Maraton **	83,6 ± 4,0	12,7 ± 3,5	2,5 ± 1,2	1,2 ± 0,7	84,7 ± 4,2	11,5 ± 3,6	2,3 ± 1,3	1,5 ± 0,3	79,9 ± 6,5	17,2 ± 3,9	1,0 ± 1,3	1,9 ± 0,7
GW:1979	44	51,6	1,9	2,5	70,7	23,7	3,5	2,1	48,6	46,8	3	1,4
HI: 2012	68,5	26	3	2,5	72	21	4	3	73	18	4	5

* For langdistanseløperne viser treningsperiode 1 og 2 prosentvis fordeling i ulike soner for to av tre løpere. Periode 3 viser prosentfordeling i ulike intensitetssoner for alle tre langdistanseløperne i ei uke hvor de deltar i en viktig konkurranse. ** For maratonløperne er prosentfordelingen i treningsperiode 3 basert på analyse av de fem siste treningsukene forut for maratonkonkurransen i et internasjonalt mesterskap.

3.3 Periodisering av trening

Kortidsperiodisering

I grunn treningsperioden er ukestrukturen og fordelingen av intervalltreninger og langkjøringer relativt lik fra uke til uke for juniorløperne omtalt i artikkel I. Tre av juniorløperne konkurrerte i langrenn om vinteren. Dagen før en konkurranse la de inn en rolig langtur, enten som løping eller på ski. I tabell 6 er det listet ei treningsuke for junioren som løpt flest km/uke (løper A). Dette er ei treningsuke i begynnelsen av mars 2008. Løper A i artikkel I er utøveren som i desember samme år ble nr. to i juniorklassen i EM i terrengløp. Han ble i 2011 Europamester for ungdom < 23 år på 10.000 m.

Tabell 6: Treningsuke mars 2008 for utøver A i artikkel I

Mars 2008	Morgen	Kveld
Mandag		60 min langkjøring (sone 1) + generell styrketrening
Tirsdag	60 min langkjøring (sone 1)	20 min oppvarming (sone 1) + 12 · 1000 m (sone 2), pause = 1 min + jogg 20 min (sone 1)
Onsdag		90 min langkjøring (sone 1)
Torsdag	60 min langkjøring (sone 1)	Oppvarming 20 min (sone 1) + 2 · (3000 m, 2000 m, 1000 m) (sone 2), pause = 1min
Fredag	75 min langkjøring (sone 1) + generell styrke	90 langkjøring (sone 1) + 10 · 60 m sprint (sone 5)
Lørdag	60 min, progressiv langkjøring (sone 1 og 2)	Oppvarming 20 min (sone 1) + 1,2,3,4,5,6,7,6,5,4,3,2,1 min løp (sone 2), pause =1min + 15 min jogg (sone 1)
Søndag	120 min, rolig langkjøring (sone 1)	

Resultater

Blant baneløperne i artikkel II er utøver C den som varierte ukestrukturen minst i grunntreningsperioden. Hun løp i de fleste uker en økt med lange intervaller og en eller to hurtige langturer i uka (se «Table 4c» i artikkel II). Alle øvrige økter var langturer i sone 1. Det som er skrevet om treningen til utøver A i artikkel II baserer seg på et begrenset utvalg av treningsuker. Utøver A sier han hadde stor variasjon i ukestrukturen i grunntreningsperioden. Treningsuka listet i «Table 4a» i artikkel II er ei treningsuke med stor mengde (210 km) og mange intensive økter. Uka er utført på treningsleir i Kenya. Etter en slik uke la han inn flere rolige treningsdager og treningsmengden i påfølgende uke ble kraftig redusert. Utøver B trente i snitt færre km/uke i grunntreningsperioden enn det A og C gjorde (se «Table 3a» i artikkel II). Han varierte også treningen fra uke til uke i større grad enn utøver C. Han løp typisk to til fire økter i sone 2 og en økt i sone 3 eller 4 i grunntreningsperioden. Treningsuka skissert i «Table 4b» i artikkel II inneholder 3 økter i sone 2, en økt i grensen mellom sone 2 og 3 og en økt i sone 4. Etter ei slik treningsuke, som er siste og hardeste uka under et tre ukers høydeopphold i Sør-Afrika, la han inn flere dager med rolig trening. Treningsmengden i påfølgende uke ble også redusert.

Av «Table 3» i artikkel II går det frem at de to kvinnelige maratonløperne løp flere kilometer i snitt per uke enn den mannlige maratonløperen. Den relative intensiteten på den mannlige utøverens trening var imidlertid ikke høyere enn hos de to kvinnene. Han hevdet at det var på grunn av tidligere skader, og redsel for å pådra seg nye, at

Resultater

han ikke løp flere km/uke. Han løp i sesongen registrert, rundt 150km/uke i snitt per uke og ble nr. 8 i Europamesterskapet på maraton. Alle tre maratonløperne løp oftest to eller tre økter i uka i sone 2. De øvrige øktene var langkjøring i sone 1. «Table 4e» og «Table 4f» i artikkel II er to uker i grunntreningsperioden for de kvinnelige maratonløperne E og F.

Ei uke i grunntreningsperioden for GW inneholder typisk en konkurranse, en økt i sone 4 og den øvrige løpingen var langturer som ble løpt i en fart av 4:00 min per km på de rolige turene, og mellom 3:45 og 3:20 min per km på de langturene som ble løpt raskest (se «Table 4» i artikkel III). Hennes løping i en fart mellom 3:45 og 3:20 min per km er registrert i sone 2.

Ukestrukturen til Henrik Ingebrigtsen (artikkel IV) i grunntreningsperioden der han bygde seg opp til sesongen 2012, besto typisk av fem økter med intervalltrening. Fire av disse ble oftest løpt i sone 2. Den femte intervalløkta ble løpt i sone 3 eller 4. To dager i uka var det vanlig at han løp intervalltrening i sone 2 både som morgen-økt og kvelds-økt. De øvrige dagene løp han rolig langkjøring i sone 1. Han gjorde drilløvelser og løp hurtige drag før alle intervalløkter som ble gjennomført om ettermiddagen. Ukestrukturen varierte lite fra uke til uke. Ei typisk treningsuke vinteren 2012 er listet i tabell 7. Denne uka inneholder 5 intervalløkter i sone 2 og en intervalløkt (søndag) i sone 4.

Resultater

Tabell 7: Treningen til Henrik Ingebrigtsen i uke 8, 2012

27.02-4.03	Morgen	Kveld
Mandag	12,5 km langkjøring. HF = 139	13 km langkjøring. HF =142
Tirsdag	10 min oppvarming (sone 1) + 5· 6 min intervall. Laktat: 2,2 - 2,3 og 2,6 (etter nr. 2. 4. og 6.) + 10 min jogg (sone 1)	20 min oppvarming (sone 1) + drill + stigningsløp +25 · 400 m, pause = 30 sek. Laktat: 3,0 -3,3 -2,5 (etter nr. 9, 18 og 25) + 10 min jogg
Onsdag	7 km langkjøring. HF = 129 + spensttrening	16 km (70 min) langkjøring. HF =140
Torsdag	10 min oppvarming (sone 1) + 5· 6 min intervall. Laktat: 1,9- 2,5-2,9 (etter nr. 2. 4. og 6.) + 10 min jogg (sone 1)	20 min oppvarming (sone 1) + drill + stigningsløp + 12 · 1000 m, pause = 60 sek. Tider mellom 3:01 og 3.05. Laktat: 2,5 -2,9 -3,0 (etter nr. 4, 8 og 12) + 10 min jogg
Fredag	7 km langkjøring, HF = 131+ spenst	13 km langkjøring, HF = 139
Lørdag	10 min oppvarming (sone 1) + 5· 6 min intervall. Laktat: 2,3-3,0 og 3,5 (etter nr. 2. 4. og 6.) + 10 min jogg (sone 1)	
Søndag	20 min oppvarming (sone 1)+ drilløvelser + stigningsløp + 8· 300 m. Snitt 43:65 sek. + 10 min jogg	13 km langkjøring, HF = 135

Periodisering gjennom treningsåret

De tre baneløperne i artikkel II og Henrik Ingebrigtsen (artikkel IV) er de løperne som i størst grad trener etter en enkelperiodiseringsmodell hvor formtopp innrettes mot et internasjonalt mesterskap i den analyserte sesongen. En spesiell utfordring i forhold til formtopping hadde Henrik Ingebrigtsen som skulle prestere optimalt i Europamesterskapet 1. juli og i OL en måned senere. Dette taklet han ved å legge inn en 11 dagers ressurstreningsperiode umiddelbart etter

Resultater

Europamesterskapet. Denne ble så fulgt av en 10 d agers spesialtreningsperiode. Formtoppingen, det vil si de siste 10 treningsdagene inn mot OL, ble gjort etter stort sett samme mal som hadde gitt suksess i Europamesterskapet.

En periodiseringsmodell rettet mot to formtopper ble benyttet av maratonløperne omtalt i artikkel II. D og E løp et maratonløp på våren for å kvalifisere seg til henholdsvis Europamesterskapet og OL. Den tredje maratonløperen (F) løp i mai halvmaraton på 1:10:19 og 3000 m på 8:58.75. Fra begynnelsen av juni fulgte hun et treningsregime rettet mot maratondistansen i OL i august.

Selv om tre av fire juniorløpere omtalt i artikkel I konkurrerte i langrenn om vinteren, var all treningen, inkludert langrennstreningen og langrennskonkurransene innrettet mot å prestere best mulige resultater som baneløpere i juni, juli og august. Etter banesesongens avslutning ble det trent systematisk med tanke på Europamesterskapet i terrengløp i desember. Dette er en dobbelperiodisering av sesongen.

Grete Waitz (artikkel III) som i alle årets måneder presterer resultater på topp internasjonalt nivå, nyttet ikke en periodiseringsmodell hvor det var stor variasjon i treningene i de ulike treningsperioder (meso-sykuser). Imidlertid ser vi at innslaget av trening i spesifikk maraton- og halvmaratonfart øker i meso-syklus 5 når hun trener med tanke på New York Marathon («Table 7» i artikkel II).

Resultater

Som det fremgår av tabell 3 var det relativt liten variasjon i treningsmengde i de ulike deler av treningsåret for alle løperne omtalt i artiklene I-IV. For juniorløperne (artikkel I) er treningsmengden i konkurranseperioden hvor de deltar i baneløp 13,1 % lavere enn i grunntreningsperioden ($115,1 \pm 22,9$ km/uke versus $132,5 \pm 25,9$ km/uke). Når de har avsluttet banesesongen og trener for terrengløp, økes treningsmengden med 25,9 % (fra $115,1 \pm 22,9$ km/uke til $145 \pm 22,9$ km/uke). Variasjonene i treningsmengde i ulike deler av treningsåret er betydelig mindre hos løperne omtalt i artiklene II, III og IV (se tabell 3). Hvordan intensitetsfordelingen mellom trening utført i ulike soner varierer i ulike perioder av treningsåret går frem av tabell 5.

3.4 Annen trening

Alle utøverne i artiklene I, II, III og IV hevder at de 1-3 ganger i uka drev en eller annen form for styrketrening. Denne treningen er imidlertid ikke spesifisert i deres treningsdagbøker. Alternativ utholdenhetstrening i form av langrennstrening gjorde tre av fire juniorer (artikkel I) som også konkurrert i langrenn i vinterhalvåret. Den ene av dem, Henrik Ingebrigtsen, ble i 2008 nor gesmester i langrenn (fristil) i yngste juniorklasse. Det er imidlertid helt unntaksvis at seniorutøverne i artiklene II, III og IV har rapportert alternative former for aerob trening som langrenn, sykling eller løping i vann.

3.5 Konkurranser i løpet av en sesong

Tabell 8 viser hvor mange konkurranser løperne i artiklene I, II, III og IV deltok i løpet av sesongen det vises til i tabellene 3 og 5. Konkurranser omfatter: stafetter, terrengløp, gateløp og konkurranser på bane.

Tabell 8: Antall konkurranser i løpet av den omtalte sesongen for løperne i artiklene I, II, III og IV.

4 Juniorer i 2008 (artikkel I)	24 ± 7
3 Langdistanseløpere (artikkel II)	11 ± 2
3 Maratonløpere (artikkel II)	8 ± 3
Grete Waitz (november 1978- ut 1979)(artikkel III)	50
Henrik Ingebrigtsen 2012 (artikkel IV)	25

3.6 Analyser av vAT

Regresjonsanalyse av testen hvor hver av de 34 løperne hadde høyest vAT viste at de tre faktorene VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$ samlet forklart 89 % av variasjonen i terskelfart. For gruppen som helhet var det bare VO_{2maks} som korrelerte signifikant med vAT. Det ble også foretatt analyser av menn (n = 22) og kvinner (n = 12) hver for seg. VO_{2maks} var også hos menn eneste variabelen som korrelerte signifikant med vAT. Blant kvinner ble det ikke funnet korrelasjon mellom vAT og noen av variablene VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$. Når tilsvarende analyser

Resultater

ble gjort av 11 menn ($vAT > 17 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$) og 9 kvinner ($vAT > 16 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$) med høyest vAT , fant en det samme. Bare $VO_{2\text{maks}}$ hos menn korrelerte med vAT .

Når menn ($n = 12$) som hadde 800 m som primærdistanse ble sammenliknet med distanseløpere ($n = 10$) med primærdistanse 1500 m og 5000 m, ble det funnet høyere vAT hos distanseløperne ($17,6 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ versus $16 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$). Distanseløperne hadde også 8,1 % høyere $VO_{2\text{maks}}$ enn mellomdistanseløperne, $79 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ versus $73,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Det var ingen signifikante forskjeller i LØ eller $\%VO_{2\text{maks}}$ mellom de to utøvergruppene.

Ved å sammenligne mannlige mellomdistanseløpere ($n = 12$) med kvinnelige langdistanseløpere ($n = 12$) ble det ikke funnet signifikant forskjell i vAT mellom de to gruppene. $VO_{2\text{maks}}$ var imidlertid signifikant høyere hos mannlig mellomdistanseløpere ($p = 0,04$). Hos de kvinnelige langdistanseløperne var imidlertid LØ bedre ($p = 0,014$) og $\%VO_{2\text{maks}}$ tenderte til å være bedre ($p = 0,081$) sammenliknet med mannlige mellomdistanseløpere.

Tabellene 9 og 10 synliggjør store individuelle forskjeller i hvordan $VO_{2\text{maks}}$, $\%VO_{2\text{maks}}$ og LØ påvirker vAT . Tabell 9 viser disse variablene for beste test til to kvinnelige langdistanseløpere (K1 og K2). Begge hadde på sin beste test: $vAT = 17,2 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$.

Tabell 10 viser to tester for to mannlige juniorløpere som begge (med ett års mellomrom) ble nordiske mestre i terrengløp. Det er 4 måneder mellom test a og b for M1 og 5 måneder mellom test a og b for M2.

Resultater

Tabell 9: vAT, VO_{2maks}, %VO_{2maks} og VO₂16 km·t⁻¹ for to kvinnelige distanseløpere: K1 og K2.

	vAT (km · t ⁻¹)	VO _{2maks} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	% VO _{2maks} ved vAT	VO ₂ 16 km · t ⁻¹ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)
K 1	17,2	78,8	86,8	62,5
K 2	17,2	65,5	88,5	53,2

Tabell 10: vAT, VO_{2maks}, %VO_{2maks} og VO₂16 km·t⁻¹ på to tester for to mannlige junior distanseløpere: M1 og M2.

	vAT (km · t ⁻¹)		VO _{2maks} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)		% VO _{2maks} ved vAT		VO ₂ 16km · t ⁻¹ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	
	Test a	Test b	Test a	Test b	Test a	Test b	Test a	Test b
M1	17,5	17,9	77,5	82,5	85,3	82,4	58,2	61,7
M2	16,2	17,6	71,9	80,7	84,6	80,7	60,2	59,1

Resultater

Som det fremgår av tabell 9 har K1 betydelig høyere VO_{2maks} enn K2, imidlertid er $\%VO_{2maks}$ og spesielt LØ bedre hos K2.

Av tabell 10 fremgår det at M1 økte vAT fra 17,5 til 17,9 $km \cdot t^{-1}$ i løpet av en treningsperiode på 4 måneder. I løpet av den samme perioden økte VO_{2maks} fra 77,5 til 82,5 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Imidlertid ble $\%VO_{2maks}$ redusert (utnyttingsgraden ble dårligere) og VO_{216} $km \cdot t^{-1}$ økte (dårligere LØ). For M2 økte vAT fra 16,2 til 17,6 $km \cdot t^{-1}$ og VO_{2maks} fra 71,9 til 80,7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ fra test a til test b. For M2 var det også bedring i LØ over en periode på 5 måneder fra test a til test b (VO_{216} $km \cdot t^{-1}$ bedret seg fra 60,2 til 59,1 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). $\%VO_{2maks}$ gikk imidlertid ned fra 84,6 til 80,7 % (dårligere utnyttingsgrad).

4 Diskusjon

4.1 Likheter og forskjeller i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan dette samsvarer med det som er dokumentert og anbefalt i forskningslitteraturen

4.1.1 Treningsmengde og treningshyppighet

De fire unge distanseløperne omtalt i artikkel I presterte gode resultater i bane- og i terrengløp i sesongen 2008. I tre ulike perioder av treningsåret løp de i snitt 132,5 ($\pm 25,9$), 115,7 ($\pm 22,9$) og 145 ($\pm 22,9$) km/uke. Dette er betydelig flere km/uke enn det som Esteve-Lanao et al. (2005) fant i en studie av unge spanske løpere over en treningsperiode på seks måneder. Blant disse var gjennomsnittlig løpsmengde 70 km/uke. Det som først og fremst skiller de fire norske juniorene fra de spanske løperne, er mengden kilometer løpt i intensitetssone 1. Sone 1 trening utgjorde fra 78 til 81 % i de ulike perioder, noe som vil si at de gjennom treningsåret løp i snitt mellom 93 og 113 km/uke som rolig og moderat trening i sone 1. I studien til Esteve-Lanao et al. (2005) ble det funnet at de løperne som løp flest km/uke var de som presterte best. Dette kan være en medvirkende årsak til at løperne i artikkel I, selv om de er yngre enn løperne i studien til Esteve-Lanao et al. (2005) ($17,8 \pm 1$ år versus 23 ± 2 år), presterer bedre. De norske løperne var nærmere verdensrekordene på distansene 1500 m og 5000 m sammenliknet med de spanske løperne.

Diskusjon

Stor treningsmengde er gjerne assosiert med mange treningsøkter per uke (Billat et al., 2003b). De fire juniorløperne løp oftest to økter per dag. De løp i snitt $11 (\pm 2)$ økter i uka. Det bør tilføyes at de to juniorene som i 2008 løp flest km/uke, tre sesonger senere (2011) ble europamestre for ungdom < 23 år på henholdsvis 5000 m og 10.000 m. Den tredje løperen ble nr. 18 i europamesterskapet i terrengløp for ungdom < 23 år i 2012, et mesterskap den fjerde løperen, europamesteren på 1500 m i 2012 - Henrik Ingebrigtsen, vant. Dette tyder på at relativt store treningsmengder i ungdomsårene har virket positivt inn på deres utvikling som distanseløpere.

To daglig treningsøkter og relativt store treningsmengder kjennetegner også treningen til de tre baneløperne og de tre maratonløperne som er omtalt i artikkel II. De løp i snitt $13 (\pm 1)$ økter per uke og antall km/uke i perioden november til mai var i snitt 164 km (baneløperne) og 187 km (maratonløperne). I konkurranseperioden var snittet 148 km/uke (baneløperne) og 173 km /uke (maratonløperne). For maratonløperne er 173km/uke i konkurranseperioden snittet av de siste fem ukene før de løp maraton i et internasjonalt mesterskap. Det at maratonløperne reduserer treningsmengden de siste to ukene før konkurransen, gjør snittet noe lavere enn i periode 1 og 2. Det bør tilføyes at de to kvinnelige løperne i enkelte treningsuker, i perioden 10 til 3 uker før maratonkonkurransen, løp mellom 220 og 240km.

Treningsmengdene som ble løpt av løperne i artikkel II er i tråd med det som tidligere er blitt rapportert løpt av suksessfulle

Diskusjon

langdistanseløpere de siste 20 år (Tjelta & Enoksen, 2001; Billat et al., 2003b; Ferreira & Rolim, 2006). To av baneløperne omtalt i artikkel II (løper A og C) erfarte at de fikk stor fremgang da de skiftet fra et treningsregime med liten mengde og høy intensitet til et regime med stor mengde og lavere intensitet. De økte antall km/uke fra ca. 80 til 160-170 km. I løpet av 14 uker, med et snitt på 160 km/uke, økte løper A som 21 åring vAT fra 16,3 til 19,3 km/t. Den påfølgende sesongen ble han nr. 2 på 5000 m i Europamesterskapet for ungdom < 23 år, og forbedret sin personlige rekord på 5000 m fra 14:45 til 13:22.58.

Den ene kvinnelige maratonløperen oppnådde bedre løpsresultater når hun reduserte treningsmengden fra et snitt på > 250 km/uke til et snitt på ca. 200 km/uke, og inkluderte mer trening i spesifikk maratonfart. Dette er i tråd med studier til Billat et al. (2002) som har rapportert økt VO_{2maks} hos maratonløpere på elitenivå som følge av mer trening i spesifikk maratonfart.

Grete Waitz (artikkel III) er den av løperne omtalt i artiklene I-IV som løp færrest km/uke (tabell 3). Hun løp i snitt 10 ± 2 økter. Til sammenlikning løp juniorutøverne (artikkel I) 11 ± 2 og seniorutøverne omtalt i artiklene II og IV 13 ± 1 økter per uke. For kenyanske eliteløpere er det i løpet av en 8-9 ukers treningsperiode rapportert at de løp mellom 10 og 16 økter i uka (Billat et al., 2003b).

Om vi sammenlikner GWs treningsmengde med treningsmengden til Ingrid Kristiansen finner vi at IK i snitt løp ca. 160 km/uke i 1985 og 1986 da hun satte verdensrekorder på 5000 m, 10.000 m og maraton

Diskusjon

(Tjelta & Enoksen, 2001). Det er ca. 30 % flere km/uke enn det GW løp i 1979 og 1983. Om vi sammenligner GWs sin trening som baneløper, med treningen til Sonia O'Sullivan i 1995 (Tjelta & Enoksen, 2001), ser vi flere likheter. GW løp i snitt 123 km/uke i 1979, O'Sullivan løp 140-150 km/uke i 1995. De løp begge relativt fort på langkjøringene, og begge hadde ukentlige økter med korte og intensive intervaller. I motsetning til GW nyttet både Sonia O'Sullivan og IK intervallserier med lange intervaller, det samme gjorde utøver C i artikkel II. Om vi sammenlikner GWs trening med treningen som drives av de fleste kenyanske kvinnelige løpere, finner vi også likhetstrekk. De fleste kvinneløpere fra Kenya trener etter en såkalt «LMHI-modell» (lite mengde og høy intensitet) og de løper i snitt 127 ± 8 km/uke (Billat et al., 2003b). Dette er treningsmengder tilsvarende det GW hadde i snitt i sesongene 1979 og 1983. Kenyanere som trener etter denne modellen løper gjerne to intervalløkter per uke. En økt med kortere intervaller og en økt med lengre intervaller. Den beskrevne økta med korte intervaller er relativt lik den økta Grete Waitz pleide å løpe en gang per uke, men som nevnt var det relativt sjelden at GW løp lengre intervaller. Det er imidlertid få av dagens eliteløpere som løper så fort så ofte på langkjøringene som det GW gjorde. Denne høye treningsintensiteten, kombinert med mange konkurranser (nesten en per uke i 1979), over et vidt spekter av distanser, førte til at GW på slutten av 1970 tallet oppnådde tider på 1500 m og 3000 m som ville vært i ypperste verdensklasse også i 2012. Som maratonløper har GW en bestetid på 2:24:54. Det er kun Ingrid Kristiansen (2:21:06) av norske

Diskusjon

løpere som har løpt fortere. Paula Radcliffe, den kvinnelige løperen som har løpt raskest på maraton gjennom alle tider (pr 20.04. 2013), løp i deler av treningsåret mellom 192 og 256 km/uke. Radcliffe løp som GW, ofte kontinuerlige langkjøringer i en fart av 3:40-3:20 min per km. Hun løp i tillegg en til to intervalløkter i uka fra 95-100 % av VO_{2maks} (Jones, 2006). Dette er trening i det intensitetsområde som i tabell 2 klassifiseres som sone 3.

Nr. 3 og 4 på den norske maratonstatistikken gjennom alle tider er utøver E og F i artikkel II. Disse har løpt på henholdsvis 2:27:05 og 2:29:12. De løp i snitt 217 og 189 km/uke i grunntreningsperioden den sesongen de var best, noe som er langt flere km/uke enn det GW løp som maratonløper, og samsvarer mer med det som er rapportert løpt av Paula Radcliffe (Jones, 2006). Når vi sammenlikner bestetidene til E og F (artikkel II) på 3000 m og maraton med bestetidene til GW på de samme distanser ser vi følgende: GW tilbakela maratondistansen på 99 og 97.8 % av tiden som E og F brukte. Med en bestetid på 3000 m, 8:31.75, tilbakela GW 3000 m på henholdsvis 92 og 94 % av tiden som E (9:16.53) og F (8:58.75) brukte da de løp sine beste 3000 m løp. Selv om Grete Waitz i sin tid var verdens beste maratonløper, kan det være fristende å stille følgende hypotetiske spørsmål: Ville hun med større treningsmengder oppnådd enda bedre tider på maratondistansen?

Henrik Ingebrigtsen løp i snitt 146 km/uke i november og desember 2011. Han løp 156 km/uke i perioden januar til medio mars 2012, og 145 km/uke i perioden fra medio mars til utgangen av august 2012.

Diskusjon

Dette er omtrent det antall km/uke som langdistanseløperne i artikkel II løp i snitt, og nært de treningsmengder som ble løpt av den kvinnelige 1500 m og 5000 m løperen Sonia O'Sullivan i 1995. Det er også nært det antall km/uke som Billat et al. (2003b) rapporterte ble løpt av kenyanske mannlige distanseløpere. Det er mellom 15 og 32 flere km/uke enn det som ble løpt av GW i 1978 / 1979. I likhet med GW utviklet også HI kapasitet til å løpe fort på lengre distanser. Han vant i desember 2012 Europamesterskapet i terrengløp over 8 km for ungdom < 23 år. Åtte uker forut for denne konkurransen løp han i snitt 160 km/uke. I konkurranseuka løp han 120 km.

4.1.2 Treningsintensitet

Av tabell 5 fremgår det at juniorløperne i artikkel I og seniorløperne i artikkel II løp fra 76,4 % til 83,6 % av totalt antall løpte kilometer i ulike perioder av treningsåret i sone 1. S tørst prosentandel i denne sonen finner vi hos maratonløperne som også er de som løper flest km/uke. Dette er omtrent samme prosentandel av trening som ble funnet i en studie av franske og portugisiske maratonløpere hvor man klassifiserte trening i tre intensitetssoner (Billat et al., 2001): (1) saktere enn maratonfart, (2) maratonfart, (3) 3000 m fart til 10.000 m fart. 78 % av nevnte maratonløperes trening ble utført i en fart som er saktere enn maratonfart (sone 1). De franske og portugisiske løperne utførte kun 4 % av treningen i maratonfart (sone 2). Dette er en lavere prosentandel med sone 2 trening enn det en finner hos de tre norske

Diskusjon

maratonløperne omtalt i artikkel II. Disse løp fra 11,5 - 17,2 % av samlet treningsmengde i denne sonen i ulike perioder av treningsåret. Prosentandelen av trening i sone 3 (10.000 m - 3000 m fart) er imidlertid høyere hos de franske og portugisiske løperne, 18 % versus 2,5 % (treningsperiode 1) hos de norske løperne. Dette kan tolkes som at man i Norge har større tradisjon for å løpe intervalltrening i området ved og like under anaerob terskel ($V2/L2$), enn i Frankrike og Portugal.

Henrik Ingebrigtsen løp ca. 70 % av treningen i sone 1. Grete Waitz løp 44 % av treningen i sone 1 i grunn treningsperioden, november - februar og ca. 70 % i terrengløpssesongen fra mars til 6. mai. I perioden hvor GW trente mot New York Marathon reduserte hun igjen mengden med sone 1 trening til ca. 49 %. GWs betydelig lavere prosentandel av sone 1 trening, sammenliknet med løperne omtalt i artiklene I, II og IV, må ses i sammenheng med hennes store prosentandel av hurtige langkjøringer i sone 2. At det for GW er betydelig høyere prosentandel av sone 1 trening, og lavere andel sone 2 trening i treningsperiode 2 (mars - 8.mai), er en følge av at hun i denne perioden løp 7 viktige konkurranser, inkludert VM i terrengløp. GWs trener, Jack Waitz, hevder at fordelingen av sone 1 og sone 2 trening under sommerens banesesong (selv om dette ikke kan dokumenteres med data), er relativt lik fordelingen i perioden mars-mai. Dette begrunnes med at hun løp roligere på langturene i forkant av viktige terrengløp og baneløp, enn i konkurranseperiode 3 hvor hun trente i mer spesifikk maratonfart, med tanke på New York Marathon.

Diskusjon

Som følge av et treningsregime med relativt faste doble intervalløkter to dager i uka, gjennomfører HI en større prosentandel av trening i sone 2 enn de andre løperne med unntak av GW. Prosentandelen av sone 2 trening går litt ned i konkurranseperioden (treningsperiode 3). Inn mot konkurranser løp han både mindre mengde på terskelintervalløktene, og færre slike økter. I perioden fra november 2011 til medio mars 2012 løp HI ca. 30 % av treningen sin som intervalltrening i sone 2 og 3. Prosentandelen i sone 3 er på beskjedene 3-4 %. En prosentandel på 30, utført som intervalltrening, er et betydelig større omfang enn omfanget av intervalltrening til løper fra New Zealand, som konkurrerte på distanser fra 1500 m til maraton (Robinson et al., 1991). Disse løperne, som var på nasjonalt nivå, utførte kun 4 % av treningen sin som intervalltrening i løpet av 6-8 rapporterte uker i grunntreningsperioden.

Analyser av treningen til tidligere verdensrekordholder på 5000 m, 10.000 m og maraton, Ingrid Kristiansen samt to kvinnelige verdensmestere i henholdsvis langrenn og orientering har vist at disse gjennomført mellom 9 og 13 % av sin trening i området rundt anaerob terskel (sone 2) (Tønnessen, 2009). Lavest prosentandel med sone 2 trening fant en hos langrennsløperen. Dette er lavere prosentandeler enn de 26 % som ble utført av HI i denne sonen. Det er også betydelig lavere prosentandeler enn de vi finner hos GW som utførte henholdsvis 58,3 og 46,8 % av treningen i dette intensitetsområde i meso-syklus 1 og 5 (dette er summen av sonene 2 og 3 i «Table 7» i artikkel III). HI og GW trente også mer enn nevnte kvinnelige utøvere i intensitetssoner

Diskusjon

som stimulerer den anaerobe utholdenheten og hurtigheten. Det kan være flere årsaker til dette. For det første konkurrerte HI og GW i en idrett med kortere varighet, og hvor det relative intensitetsnivået er høyere enn i langdistanseløp (5000 m til maraton), orientering og langrenn. For det andre er løpstrening mer belastende enn orientering og langrenn, noe som gjør at antall treningstimer per tidsenhet normalt er lavere hos løpere enn hos spesielt langrennsløpere (Seiler & Tønnessen, 2009). Prestasjoner i distanseløping er avhengig av variablene treningsmengde, treningsintensitet og treningshyppighet (Midgley, McNaughton & Jones, 2007). Det kan derfor være hensiktsmessig for løpere som konkurrerer på distansene 1500 m og 3000 m å ha relativt høy intensitet på mye av den aerobe treningen, fremfor å øke volumet av rolig trening i en fart langt fra spesifikk konkurransefart.

Det som er det mest i øyenfallende når en ser på prosentfordelingen av trening i ulike intensitetssoner (tabell 5), er de relativt lave prosentandelene av aerob trening i sone 3 og anaerob trening i sonene 4 og 5. Utøverne omtalt i artiklene I-IV (med unntak av GW) prioriterer lange intervallserier i sone 2, som for eksempel 12 · 1000 m med et ett min pause, fremfor 5-6 · 1000 m i sone 3 med 2-4 min pause. Det er mye som tyder på at sone 2 trening hvor HF er fra 82-92 % av HF_{maks} og laktatverdiene er mellom 2-4 mmol/L⁻¹, gir større mengde med relativt høy intensitet og krever kortere restitusjonstid enn trening hvor HF er mellom 92-97 % av HF_{maks} og laktat er > 4 mmol/L⁻¹. Henrik

Diskusjon

Ingebrigtsen hevder (personlig samtale) at dette er en medvirkende årsak til at han tåler å løpe to intervalløkter på en og samme dag. HI løp i grunntreningsperioden (november – april) typisk $5 \cdot 2000$ m (eller $3 \cdot 3000$ m) om morgenen samme dag som han løp $25 \cdot 400$ m eller $12 \cdot 1000$ m om kvelden (tabell 7). Dette gjorde han oftest to dager i uka. I denne perioden løp han i de fleste uker også en økt i sone 3 eller 4. I tabell 7 er denne økta utført som $8 \cdot 300$ m i 1500 m fart i sone 4. I flere av ukene i grunntreningsperioden ble denne økta løpt i sone 3 eller 4 som $2 \cdot (10 \cdot 200$ m) i slak motbakke.

Prosentandelen av anaerob trening i sonene 4 og 5 varierer mellom 0,6 % (juniorløpere) og 2,5 % (GW og HI) i grunntreningsperioden (vintertrening). Høyest prosentandel av anaerob trening finner vi hos 1500 m løperen HI i konkurranseperioden (treningsperiode 3). Han løp i denne perioden 5 % av treningen i sonene 4 og 5. Anaerob trening og konkurranser over 800 m eller 1500 m utgjorde 4 %, mens hurtighetstrening i sone 5 utgjorde 1 %.

Det kan ved første øyekast virke litt rart at en så liten prosentandel av treningen blir utført i spesifikk konkurransefart. Årsakene til dette er at anaerob trening i 800- og 1500 m fart utføres med liten treningsmengde, krever lang restitusjon og løpes, i konkurranseperioden, bare som to eller tre økter per uke. Som det fremgår av «Table 4» i artikkel IV løp HI i uka han ble Europamester både forsøksheat og finale på 1500 m, noe som utgjør 3 km. I tillegg løp han $5 \cdot 200$ m i 800 fart. Samlet for denne uka utgjør dette 4 km

Diskusjon

med løping i sone 4. Dette utgjør kun 4 % av en ukentlig løpsmengde på 100 km. I uker uten konkurranser, eller i uker hvor det ble løpt mindre viktige konkurranser, var antall km med sone 4 trening noe høyere enn i denne «EM-uka». Imidlertid var kilometermengden i disse ukene også høyere (140-150 km), noe som gjør at prosentandelen av sone 4 og 5 trening også i disse ukene er rundt 5 %.

4.1.3 Periodisering av trening

Alle utøverne i artiklene I-IV har varierende intensitet på treningsøktene innen ei og samme treningsuke i alle perioder av treningsåret. En dag med intervalltrening i sone 2 eller 3 blir typisk etterfulgt av langkjøring i sone 1. Dette sørger for at utøveren restituerer seg etter harde treninger (Seiler, 2010). I tråd med andre studier som har dokumentert fordeling av mengde og intensitet hos eliteutøvere i utholdenhetsidretter (Gaskill et al., 1999; Schumacher & Mueller, 2002; Midgley, McNaughton & Wilkinson, 2006; Zapico et al., 2007; Guellich et al., 2009), ser en også en økning av trening med høy intensitet i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden hos utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV. Dette skjer samtidig som en relativt høy treningsmengde opprettholdes. Dette er i tråd med det som er rapportert fra andre utholdenhetsidretter (Gaskill et al., 1999; Schumacher & Mueller, 2002; Zapico et al., 2007; Guellich et al., 2009), og upubliserte data fra trenere og eliteutøvere (Seiler, 2010). Hos de fire juniorløperne i artikkel I øker

Diskusjon

treningsmengden i perioden forut for Europamesterskapet i terrengløp. Det samme gjorde det for HI forut for samme mesterskap i 2012 og for GW i perioden før hun i 1979 løp New York Marathon. Utøverne har m.a.o. en tendens til å øke treningsmengden når de skal konkurrere på lengre distanser enn de vanligvis konkurrerer på.

4.1.4 Antall konkurranser i løpet av en sesong

Det er stor variasjon i antall konkurranser utøverne omtalt i artiklene I-IV deltok i gjennom sesongen som er analysert (tabell 8). Færrest konkurranser finner vi hos de tre maratonløperne omtalt i artikkel II (8 ± 3). Flest konkurranser løp GW som i løpet av 13 måneder deltok i 50 konkurranser. Juniorløperne i artikkel I og HI løp ca. 25 konkurranser i løpet av sesongen. Langdistanseløperne i artikkel II løp 11 ± 2 konkurranser. Ut fra disse store forskjeller i konkurransehyppighet, er det vanskelig å antyde om det er deltakelse i få eller relativt mange konkurranser som er gunstig med tanke på å oppnå gode resultater som distanseløper. Kanskje er det så enkelt at mange konkurranser er gunstig for løpere som liker å konkurrere mye, og at disse også bruker konkurranser som en form for trening i større grad enn løpere som konkurrerer relativt sjelden?

4.2 Fysiologiske testresultater av norske eliteløpere sammenliknet med krav forskningslitteraturen setter til løpere på internasjonalt toppnivå

4.2.1 Maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks})

I forskningslitteraturen er det rapportert VO_{2maks} verdier mellom 60-75 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ for kvinner, og fra 70-85 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ for menn som konkurrerer på internasjonalt nivå i distanseløp (Sjödín & Svedenhag, 1985; Noakes, 1986; Smith, Peltola & Tumilty, 2000; Rabadan et al., 2001; Billat et al., 2003b; Jones, 2006; Legaz-Arrese et al., 2011; Ingeham et al., 2012).

VO_{2maks} verdiene til tre av fire juniorutøvere omtalt i artikkel I var $79,2 \pm 4,8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. To andre juniorløpere omtalt i artikkel V hadde 80,7 og 82,5 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ i VO_{2maks} noen måneder før de ble Nordiske juniormestere i terrengløp. Den ene av disse ble samme sesong nr. 7 i juniorklassen i Europamesterskapet i terrengløp. Utøver A i artikkel II er den utøveren som målte høyest VO_{2maks} (artikkel V) med 86,7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Noen måneder senere løp han 5000 m på 13:22.58. Utøveren med nest høyest VO_{2maks} blant 22 menn omtalt i artikkel V er Henrik Ingebrigtsen som hadde 84,4 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ som juniorløper i 2010. De 12 kvinnene omtalt i artikkel V har i snitt 69,1 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ i VO_{2maks} . Dette er på nivå med de verdier som er rapportert for kvinnelige distanseløper på elitenivå. En av kvinnene i studien målte ved beste AT test 78,7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ i VO_{2maks} . Seks måneder før denne testen målte hun ved tilsvarende test 78,9 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Ved denne testen var

Diskusjon

imidlertid vAT litt lavere grunnet dårligere løpsøkonomi. VO_{2maks} verdier på 78,7 og 78,9 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ er høyeste verdier målt på en kvinnelig distanseløper. Det ble målt VO_{2maks} for Grete Waitz ved laboratorietest en gang i hennes karriere. Hennes VO_{2maks} var da 73 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Costill & Higdon, 1981).

Norske utøvere som har hevdet seg på internasjonalt toppnivå i distanseløp har m.a.o. målt verdier for VO_{2mak} som er blant de høyeste rapportert blant distanseløpere i forskningslitteraturen.

4.2.2 Løpsøkonomi (LØ)

Å sammenlikne LØ til de 34 løperne omtalt i artikkel V med andre studier er problematisk. Dette fordi løpere i andre studier enten er blitt testet ved løp på tredemølle med 1 % stigning (Jones, 2006; Lucia et al., 2006; Rabadan et al., 2011), eller at det ikke er oppgitt om testen er blitt utført på mølle med eller uten stigning (Ingham et al., 2012). Testene det refereres til i artikkel V er utført på Toppidrettssenteret i Oslo med en møllestigning på 1,7 %. Dette gjør at O_2 kravet blir noe høyere enn ved en møllestigning på 1 % som Jones & Doust (1996) anbefaler. Dette kan være en medvirkende årsak til at de fleste av løperne i studien i artikkel V bruker $> 200 ml \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}$ ved løp i en fart av 16,0 $km \cdot t^{-1}$. Jones (2006) hevder at løpere som bruker 200 $ml \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}$ når møllestigningen er 1 % har gjennomsnittlig løpsøkonomi. Verdier under og over dette snittet er uttrykk for at løpsøkonomien er henholdsvis god eller dårlig.

Diskusjon

4.2.3 vAT og %VO_{2maks}

Ettersom det foreligger en rekke ulike kriterier og metoder for å estimere AT (Faude et al., 2009), er det vanskelig å an gi eksakte verdier for vAT og %VO_{2maks} som samsvarer med prestasjoner på ulike distanser. Det er imidlertid ved alle metoder observert samsvar mellom vAT og prestasjonsnivå i langdistanseløping (Yoshida et al., 1990; Maffulli et al., 1991; Nicholson & Sleivert, 2001). Ifølge Billat et al. (2003a) er oksygenopptaket ved vAT hos eliteløpere ca. 85 % av VO_{2maks}. Dette samsvarer med det som dokumenteres i artikkel V. Hos kvinner (n = 12) er gjennomsnittlig oksygenopptak ved AT 86,1 % av VO_{2maks}, og for menn (n = 22) er det 84,1 %. Ifølge Billat et al. (2003a) er vAT en fart som godt trente distanseløpere kan opprettholde i ca. en time. Av artikkel V går det frem at snittiden på halvmaraton for fem av kvinnene i studien var 1:11.04. Da er farten 17,8 km·t⁻¹, tilsvarende 3:22 min per km. Snittet av vAT for de samme fem er 17,1 km· t⁻¹. Avviket mellom vAT og snittfart på halvmaraton indikerer at det er mer krevende å løpe på mølle med 1,7 % stigning, enn det er å løpe utendørs på flatt underlag. Dette samsvarer med det Henrik Ingebrigtsen og løperne A, B, E og F i artikkel II har rapportert (personlige samtaler). De løper serier med langintervall (for eksempel 12 · 1000m eller 6 · 2000 m) utendørs, på høyere hastighet enn vAT testet på mølle med 1,7 % stigning, selv om HF og laktatverdiene er de samme.

4.2.4 løpshastighet ved VO_{2maks} (vVO_{2maks})

Det er dokumentert i forskningslitteraturen at vVO_{2maks} er det parameter som korrelerer best med prestasjonsnivået i kortere distanseløp som 1500 m, 3000 m og 3000 m hinderløp (Bosquet et al., 2002; Legaz-Arreze et al., 2001). Bosquet et al. (2002) peker på at det er vanskelig å sammenlikne vVO_{2maks} verdier fra ulike studier da protokollene er varierende. I Norge har det ikke vært tradisjon for å oppgi vVO_{2maks} når løpere blir testet. Det er å anbefale at dette for fremtiden blir gjort, og at det utarbeides en norsk protokoll for en slik test.

4.2.5 Forholdet mellom vAT og faktorene VO_{2maks} , $LØ$ og $\%VO_{2maks}$

Det er overraskende store forskjeller i løpsøkonomi og VO_{2maks} mellom de to kvinnene med samme vAT som det vises til i tabell 9. Andre studier har også rapportert at veldig høye VO_{2maks} verdier ofte er assosiert med dårlig arbeidsøkonomi (jamfør K2 i tabell 9) i utholdenhetsidretter (Morgan & Daniels, 1994; Noakes & Tucker, 2004; Sawyer et al., 2010). Overraskende er det også at en økning av vAT og VO_{2maks} , etter 4-5 måneder med trening, kan resultere i dårligere $LØ$ eller lavere $\%VO_{2maks}$ (tabell 10). Årsaken kan være at løpere som øker sitt VO_{2maks} tar i bruk flere type IIa muskelfibre. Disse er mindre økonomiske og krever mer O_2 enn type I fibre (Hunter et al., 2005; Sawyer et al., 2010). Ettersom løperne i tabell 10 er to unge utøvere kan det være nærliggende å anta at disse over tid også vil

Diskusjon

utvikle type IIa fibre til å bli mer økonomiske (Hunter et al., 2005), slik at LØ og %VO_{2maks} på lengre sikt bedres. Dette vil i så fall være tråd med det som Jones (2006) fant i sine studier av den britiske kvinnelige maratonløperen Paula Radcliffe. Til tross for relativt stabilt VO_{2maks} ble hennes prestasjonsnivå over tid stadig bedre. Dette som følge av økt vAT og bedret LØ. Jones (2006) antyder at flere år med trening kunne ha gjort at type II fibre fikk mange av type I fibrenes karakteristika: redusert myosin-ATPase aktivitet, økt mitokondrietetthet, økt aktivitet fra oksidative enzymer og større kapillærtetthet (Widrick et al., 1996; Taylor & Bachman, 1999). Dette antas å ha ført til redusert O₂ krav ved løp i en gitt hastighet (Jones, 2006). Dette kan også være en medvirkende årsak til at kvinnelige langdistanseløpere (omtalt i artikkel V), som har flere år med store treningsmengder bak seg, har bedre LØ og høyere %VO_{2maks} enn unge mannlige mellomdistanseløpere.

Av artikkel V fremgår det at mannlige distanseløpere hadde høyere vAT enn mannlige mellomdistanseløpere, og at dette primært var et resultat av høyere VO_{2maks} blant distanseløperne. Dette har de oppnådd til tross for at mellomdistanseløpere typisk utfører en større prosentandel av sin trening med høyere relativ intensitet enn distanseløperne. Høy aerob intensitet på intervalltrening (sone 3 trening) har i studier av moderat trente personer vist seg å være gunstig med tanke på å øke VO_{2maks} (Laffite et al., 2003; Smith, Coombes, & Geraghty, 2003; Helgerud et al., 2007). Som mangeårig trener og fagansvarlig for mellom- og langdistanseløp i NFIF har jeg imidlertid gjort noen observasjoner og

Diskusjon

reflektert litt rundt begrepet treningsintensitet. Jeg har erfart at løpere som løper < 100 km/uke også har en mindre mengde på de enkelte intervalltreninger (løper færre meter per økt) enn de som løper > 140 km/uke. Løpere som løper < 100km/uke trener typisk intervaller (eks 6 · 1000 m) med en høyere relativ intensitet (oftest i sone 3), og med lengre pauser mellom dragene, enn de som løper > 140 km/uke. De er til tross for dette oftest ikke i stand til å løpe sine 6 · 1000 m, med to min pause, like fort som de som løper > 140 km/uke kan løpe sine 12 · 1000 m med ett min pause. Høyere absolutt intensitet på intervalltrening, flere kilometer løpt per intervalløkt og større treningsmengde kan være med å forklare at mannlige distanseløpere har høyere vAT og høyere VO_{2maks} enn mellomdistanseløpere. Høyest vAT, høyest VO_{2maks} og best LØ blant menn i artikkel V har to 21 og 19 år gamle utøvere (utøver A i artikkel II og HI i artikkel IV) som begge forut for disse testene løp relativt store treningsmengder, henholdsvis 160 og 140 km/uke. Begge økte antall km/uke i årene etter testen referert i artikkel V, og begge løp store mengder med intervalltrening i området rundt anaerob terskel. Disse to utøverne innehar pr 20.04 2013 norgesrekordene på distansene: 1500 m, en engelsk mile, 3000 m og 5000 m. En studie av Ingham et al. (2008) viser at forholdet mellom VO_{2maks} og løpsøkonomi etter følgende formel: $(VO_{2maks} \cdot LØ^{-0,71})^{35}$, forklarer 95,9 % av variasjonene i prestasjonsnivå mellom 1500 m løpere på elitenivå. Dette er med på å forklare at H.I. og utøver A i artikkel II er de beste mannlige distanseløperne i Norge gjennom alle tider.

Diskusjon

At store treningsmengder synes å påvirke vAT, utnyttingsgrad, løpsøkonomi og VO_{2maks} ser en når mannlige mellomdistanseløpere sammenlignes med kvinnelige langdistanseløpere i artikkel V. vAT er ikke signifikant forskjellig mellom de to gruppene. VO_{2maks} er imidlertid høyere hos mannlige mellomdistanseløpere, mens utnyttingsgrad og løpsøkonomi er bedre hos kvinnelige langdistanseløpere. At mannlige mellomdistanseløpere har høyere VO_{2maks} enn kvinnelige langdistanseløpere må antas å skyldes kjønnsforskjeller. Studier av mannlige og kvinnelige eliteløpere på samme relative prestasjonsnivå, har vist at VO_{2maks} er 8-12 % lavere hos kvinner (Bahr et al., 1992; Wilmore & Costill, 1999). Mannlige mellomdistanseløpere og kvinnelige langdistanseløpere i artikkel V har i snitt 73,1 og 69,1 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ i VO_{2maks} . Det gir kvinnene kun 5,5 % lavere VO_{2maks} enn mellomdistanse menn. Dette skulle indikere at store treningsmengder hos kvinnelige langdistanseløpere har hatt positiv effekt på alle de tre variablene som påvirker vAT. De tre kvinnene med høyest vAT (17,2 - 17,3 km/t^{-1}) løp i snitt mellom 160 og 180 km/uke (Tjelta, 1996).

5 Konklusjon

I avhandlingen rettes søkelyset mot følgende fire hovedproblemstillinger:

1 Hvordan trente norske junior- og seniorutøvere som har nådd internasjonalt nivå i distanseløping?

2 Hvilke sammenhenger er det mellom løpsfart ved anaerob terskel (v_{AT}) og variablene maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), løpsøkonomi (LØ) og utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) hos 34 mellom- og langdistanseløpere som har vært deltakere i ulike prosjektgrupper i regi av NFIF?

3 Hvilke forskjeller og likheter er det i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan samsvarer dette med det som dokumenteres og anbefales i forskningslitteraturen?

4 Hvordan samsvarer fysiologiske testresultater av norske løpere med de krav forskningslitteraturen setter til løpere som skal prestere på internasjonalt toppnivå?

1) Hvordan trente norske junior- og seniorutøvere som har nådd internasjonalt nivå i distanseløping?

Gjennomsnittlig ukentlig treningsmengde for løperne i denne avhandlingen er strekt varierende. Blant de fire juniorutøverne omtalt i artikkel I var det en variasjon i treningsmengde fra 110 til 180 km/uke i grunntreningsperioden. Blant seniorløperne varierte snittet i

Konklusjon

grunntreningsperioden fra 121 km/uke hos GW til 216,8 km/uke hos utøver E i artikkel II. Alle utøverne har kombinert trening med lav intensitet med intervalltrening og/eller hurtig langkjøring i området rundt anaerob terskel. Gjennomsnittlige treningsmengder mellom 154 og 217 km/uke, hvor det oftest var inkludert to økter i sone 2 (halvmaratonfart og maratonfart), ble løpt av maratonløperne i grunntreningsperioden.

Utøver C og de tre maratonløperne i artikkel II må sies å ha trent i tråd med det som karakteriseres som en treningsmodell preget av stor mengde og lav intensitet, en «SMLI-modell» (Billat et al., 2003b; Ferreira & Rolim, 2006). Vår fremste kvinnelige 1500 m og 3000 m løper og nest-beste maratonløper gjennom alle tider, Grete Waitz, løp betydelig færre km/uke enn de tre kvinnelige utøverne omtalt i artikkel II. GW løp i motsetning til nevnte tre heller ikke intervalltrening. GW hadde imidlertid høyere relativ intensitet på den samlede ukentlige treningsmengden enn de øvrige løperne. Hun nyttet et treningsregime i tråd med det som Billat et al. (2003b) karakteriserer som en «LMHI-modell». Treningen er preget av relativt liten treningsmengde og høy intensitet. Løperne A og B i artikkel II samt Henrik Ingebrigtsen, nyttet et treningsregime som ligger i skjæringspunktet mellom det som Billat et al. (2003b) betegner som «LMHI-modell» og «SMLI-modell». Løper B i artikkel I og HI løp i snitt 150 og 156 km /uke i grunntreningsperioden. De løp begge mange intervalløkter i sone 2. Utøver A i artikkel II hevder han varierte treningsmengden fra uke til uke. Han inkluderte også mange økter i sone 2 i den ukentlige

Konklusjon

treningen. I «Table 4a» i artikkel II er det listet opp ei treningsuke for utøver A i grunntreningsperioden. I denne uka løp han 210 km. 42 km er trening i sone 2 og 14 km er trening i sone 3. I tillegg løp han en økt i sone 4 og en sprintøkt i sone 5. Dette treningsregimet er ikke ulikt det Henrik Ingebrigtsen benyttet i 2012. Det kan med andre ord se ut som at treningsmengder rundt 150-200 km/uke for 5000 m og 10.000 m løpere og 120-160 km/uke for 1500 m og 3000 m løpere, er hensiktsmessig i grunntreningsperioden. Det synes også som at det å kombinere slike ukentlig løpsmengder med mye løping i terskelfart, og en økt med trening i sone 3 eller 4 i grunntreningsperioden, er gunstig. I tillegg bør det trenes generell styrketrening og noe hurtighetstrening. Det anbefales også å redusere antall økter og antall kilometer løpt i terskelfart, og øke antall økter i spesifikk konkurransefart, i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden for de som konkurrerer på distanser fra 1500 m til 10.000 m. Det er viktig å presisere at GW som trente etter en «LMHI-modell» i enkelte perioder av treningsåret løp ca. 50 % av sin totale treningsmengde i løpsfart mellom 3:45 og 3:20 min per km. Dette er veldig fort til å være en kvinnelig distanseløper. I tillegg løp hun oftest en ukentlig økt i sone 4 og en konkurranse i uka.

2) *Hvilke sammenhenger er det mellom løpsfart ved anaerob terskel (vAT) og variablene maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), løpsøkonomi ($LØ$) og utnyttingsgrad ($\%VO_{2maks}$) hos 34 mellom- og langdistanseløpere som har vært deltakere i ulike prosjektgrupper i regi av NFIF?*

Konklusjon

Blant 34 norske løpere ble det funnet at de tre faktorene VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$ samlet forklarte 89 % av variasjonen i terskelfart. For gruppen som helhet var det bare VO_{2maks} som korrelerte signifikant med vAT. VO_{2maks} var også hos menn den eneste variabelen som korrelerte signifikant med vAT. Blant kvinner ble det ikke funnet korrelasjon mellom vAT og noe n av variablene VO_{2maks} , LØ og $\%VO_{2maks}$. Om det er tilfeldig eller kjønnsspesifikt at VO_{2maks} korrelerer med vAT hos menn, men ikke hos kvinner, er noe som bør utforskes mer.

3 Hvilke forskjeller og likheter er det i treningen til utøverne omtalt i artiklene I, II, III og IV, og hvordan samsvarer dette med det som dokumenters og anbefales i forskningslitteraturen?

De fire unge distanseløperne omtalt i artikkel I, løp flere km/uke enn det som er rapportert løpt av unge spanske løpere (Estava-Lanao et al., 2005). Løperne omtalt i artiklene II, III og IV hadde treningsmengder i tråd med det som tidligere er rapportert løpt av eliteutøvere i artikler uten review, og det som er rapportert i et begrenset utvalg av vitenskapelige publikasjoner (Tjelta & Enoksen, 2001; Billat et al., 2003b; Ferreira & Rolim, 2006). Som maratonløper løp Grete Waitz betydelig færre km/uke i 1983 enn det både kenyanske Tegla Lourope (Billat et al., 2003b) og britiske Paula Radcliffe (Jones, 2006) løp da de var på topp som maratonløpere.

Det er få studier som har rapportert intensitetsfordeling over så lang tid som et år. Det er derfor vanskelig å gjøre sammenlikninger med

Konklusjon

tidligere forskning. Løperne i denne avhandlingen, med unntak av Grete Waitz, løp imidlertid en større prosentandel av antall km/uke som intervalltrening, enn det som er rapportert, i løpet av en 6 - 8 ukers periode, for distanseløpere på nasjonalt nivå fra New- Zealand (Robinson et al., 1991).

Franske og portugisiske maratonløpere løp færre kilometer med trening i sone 2 og flere kilometer i sone 3, sammenliknet med norske løpere (Billat et al., 2011).

Maratonløperne og den kvinnelige langdistanseløper C i artikkel II, trente etter det som karakteriseres som en «SMLI-modell» (stor mengde og lav intensitets). Dette er tråd med treningsregimer rapportert for så vel baneløpere som maratonløpere (Billat et al., 2003b, Ferreira & Rolim, 2006). Grete Waitz trente etter en modell preget av relativt moderate treningsmengder og høy intensitet på treningen, en «LMHI-modell». Dette er ikke ulikt det treningsregime som 6 av 7 kenyanske kvinner nyttet over en ni ukers periode (Billat et al., 2003b).

4 Hvordan samsvarer fysiologiske testresultater av norske løpere med de krav forskningslitteraturen setter til løpere som skal prestere på internasjonalt toppnivå?

Testresultatene i artikkel V, VO_{2maks} -tester av tre av fire juniorløpere omtalt i artikkel I og av Grete Waitz, viser at norske eliteløpere har hatt VO_{2maks} verdier tilsvarende de høyeste verdier rapportert i forskningslitteraturen. Når det gjelder verdier for vAT, LØ og $\%VO_{2maks}$ er det vanskelig å sammenlikne resultatene i artikkel V med

Konklusjon

resultater fra andre studier. Dette grunnet ulike protokoller for testing og estimering av vAT, LØ og %VO_{2maks}. Det anbefales at man i Norge går over til å utføre AT-tester på mølle med 1 % stigning i stedet for 1,7 % som i dag. Dette vil føre til at man får testverdier for vAT i laboratoriet som i større grad samsvarer med vAT ved løping utendørs (Jones & Doust, 1996). Videre anbefales det å utarbeide en norsk protokoll for estimering av vVO_{2maks} som er det enkeltparameter forskningslitteraturen hevder korrelerer best med prestasjonsnivået på distansene: 1500 m, 3000 m og 3000 m hinderløp (Bosquet et al., 2002; Legaz-Arreze et al., 2011).

Anbefalinger

Juniorløpere som vil nå internasjonalt nivå i distanseløp bør ved 18-19 års alder løpe ≥ 110 km/uke i grunntreningsperioden. I denne perioden anbefales det å trene to - tre økter i sone 2 og en økt i sone 3. I den konkurranseforbereidende perioden og i konkurranseperioden anbefales det å løpe flere økter i spesifikk konkurransefart samtidig som total treningsmengde reduseres med ca. 15 %.

For seniorutøvere kan det se ut som at treningsmengder rundt 150-200 km/uke for 5000 m og 10.000 m løpere og 120-160 km/uke for 1500 m løpere, er hensiktsmessig i grunntreningsperioden. Det synes også som at det å kombinere slike ukentlig treningsmengder med 2-4 økter i terskelfart og en økt med trening i sone 3 eller 4 i grunntreningsperioden, er gunstig. I tillegg bør det trenes hurtighetstrening og generell styrketrening. Det anbefales også å redusere antall økter og

Konklusjon

antall kilometer løpt i te rskelfart, og øke antall økter i s pesifikk konkurransefart, i den konkurranseforberedende perioden og i konkurranseperioden for de som konkurrerer på distanser fra 1500 m til 10.000 m.

For maratonløpere som trener etter en «SMLI-modell» anbefales det å ha treningsmengder mellom 180-260 km/uke. For disse kan store treningsmengder kombineres med to-tre økter i sone 2, eller en-to økter i sone 2 og en økt i sone 3. I de siste to ukene før et maratonløp reduseres treningsmengden. Toppresultater på maraton kan også oppnås med noe lavere treningsmengder (150-200 km/uke), en såkalt «LMHI-modell». Dette betinger høyere intensitet på langturene og intervalltreninger med færre repetisjoner med høyere intensitet og med lengre pauser mellom intervalldragene, enn om man nytter en «SMLI-modell» (Ferreira & Rolim, 2006).

Det bør til slutt tilføyes at ulike personer reagerer ulikt på trening. For en trener er utfordringen, i motsetning til hos forskere, å finne frem til treningen som er optimal for enkeltutøveren, og ikke den treningen som gir størst gjennomsnittlig fremgang for en større gruppe (Paton & Hopkins, 2005).

6 Referanser

- Acevedo, E.O., & Goldfarb, A.H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(5), 563-568.
- Bahr, R., Hallén, J., & Medbø, J.I. (1992). *Testing av idrettsutøvere*, Universitetsforlaget.
- Balyi, I. (2002). Long-term athlete development: the B.C. approach. *Sports Aider*, 18, 1-4.
- Bassett, D.R., & 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.
- Beneke, R., & von Duvillard, S.P. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(2), 241-246.
- Beneke, R., Leithaeuser, R.M., & Huetler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 35(3), 192-196.
- Berg, K. (2003). Endurance training and performance in runners. *Sports Medicine*, 33(1), 59-73.
- Billat, V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Medicine*, 22(3), 157-175.
- Billat, V., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(1), 156-163
- Billat, V. (2001). The contribution made by science to sports training: the example of long and middle distance running. *Revue des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives*, 22(54), 23-43.
- Billat, V., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J.P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(12), 2089-2097.

Referanser

- Billat, V., Demarle, A., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2002). Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). *International Journal of Sports Medicine*, 23(5), 336-341.
- Billat, V., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J.P., & Mercier, J. (2003a). The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*, 33(6), 407-426.
- Billat, V., Lepretre, P.M., Heugas, A.M., Laurence, M.H., Salim, D., & Koralsztein, J.P. (2003b). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(2), 297-304.
- Billat, V., Sirvent, P., Lepretre, P.M., & Koralsztein, J.P. (2004). Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. *European Journal of Physiology*, 447(6), 875-883.
- Bompa, T.O. (1999). *Periodization: theory and methodology of training* (4th ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Bosquet, L., Leger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine*, 32(11), 675-700.
- Brandon, L.J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine*, 19(4), 268-277.
- Brook, N. (1992). *Endurance Running Events*. Birmingham, England: British Athletic Federation.
- Burfoot, A. (1981). Training the hard/easy way. *Runners World*, 16, 57-105.
- Busso, T., & Chatagnon, M. (2006). Modelling of aerobic and anaerobic energy production in middle-distance running. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 745-754.
- Carter, H., Jones, A.M., & Doust, J.H. (1999). Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *Journal of Sports Sciences*, 17(12), 957-967.
- Coetzer, P., Noakes, T.D., Sanders, B., Lamberty, M.I., Bosch, A.N., Wiggins, T., & Dennis, S. C. (1993). Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1822-1827.

Referanser

- Conley, D.L., & Kranenbuhl, G.S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *12*, 357-360.
- Conley, D.L., Krahenbuhl, G.S., Burkett, L.N., & Millar, A.L. (1984). Following Steve Scott: physiological changes accompanying training. *Physician & Sportsmedicine*, *12*(1), 103-106.
- Costill, D.L., Thomsen, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *5*, 248-252.
- Costill, D.L., & Higdon, H. (1981). A season in Norway: What makes Grete run? *The Runner* (April), 50-83.
- Coyle, E.F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, *23*, 25-63.
- Daniels, J., & Scardina, N. (1984). Interval training and performance. *Sports Medicine*, *1*(4), 327-334.
- Daniels, J., & Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *24*, 483-489.
- Denadai, B. S., Ortiz, M. J., Greco, C. C., & de Mello, M. T. (2006). Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO₂ max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *31*, 737-743.
- Dickhuth, H.H., Yin, L., Niess, A., Roecker, K., Mayer, F., Heitkamp, H.C., & Horstmann, T. (1999). Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *International Journal of Sports Medicine*, *20*(2), 122-127.
- Dill, D.B., Talbot, J.H., & Edwards, H.T. (1930). Studies in muscular activity. VI: Response of several individuals to a fixws task. *Journal of Applied Physiology*, *69*, 267-305.
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A.F., Earnest, C.P., Foster, C., & Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *37*(3), 496-504.

Referanser

- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., & Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 943-949.
- Evertsen, E. (1998). Kenyansk langdistanseløping. *Idrettsmagasinet*, 1, 31-35.
- Evertsen, F., Medbø, J.I., Jebens, E., & Gjøvåg, T.F. (1999). Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167(3), 247-257.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Ferreira, P. (1983). Experience in Oporto. *Track & Field Quarterly Review*, 83(3), 38-41.
- Ferreira, R.L., & Rolim, R. (2006). The evolution of marathon training: A comparative analysis of elite runners' training programmes. *New Studies in Athletics*, 21(1), 29-37;108-111.
- Fiskerstrand, A., & Seiler, K.S. (2004). Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 303-310.
- Forsberg, A., & Saltin, B. (1987). *Kondisjonstraning: Idrottens Forskningsråd, Sveriges Riksidrottsförbund*.
- Foster, C. (1983). VO₂max and training indices as determination of competitive running performance. *Journal of Sports Sciences*, 1, 13-22.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S., & Pedersen, P. K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(8), 1250-1256.
- Frøyd, C., Madsen, Ø., Sæterdal, R., Tønnessen, E., Wistnes, A., & Aasen, S.B., (2005). *Utholdenhet - trening som gir resultater: Akilles*.
- Gaskill, S.E. (1998). Fitness cross-country skiing. *Fitness spectrum Series*.
- Gaskill, S.E., Serfass, R.C., Bacharach, D.W., & Kelly, J.M. (1999). Responses to training in cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(8), 1211-1217.

Referanser

- Gjerset, A. (1992). *Idrettens treningslære*. Universitetsforlaget.
- Grant, G. (2009). No short-cuts to the top. *Athletics Weekly, Descartes Publishing Ltd.*, 5 (14), 26-26.
- Guellich, A., Seiler, S., & Emrich, E. (2009). Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(4), 448-460.
- Hallén, J. (1993). Testing av aerob energiomsetning. *Tidsskrift Norsk Lægeforening*, 113, 587-580.
- Helgerud, J., Ingjer, F., & Strømme, S.B. (1990). Sex-differences in performance-matched marathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(5-6), 433-439.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., & Hoff, J., (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671.
- Holmer, G. (1947). *Veien til rekorden. Instruksjonsbok i friidrett*. Oslo.
- Hunter, G.R., Bamman, M.M., Lason-Meyer, D.E., Joanisse, D.R., Mc Carty, J.P., Blaudeau, T., & Newcomer, B.R. (2005). Inverse relationship between exercise economy and oxidative capacity in muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 558-568.
- Husby, S.R. (1982). *En analyse av treningsarbeidet til fire norske langdistanseløpere. Knut Kvalheim, Per Halle, Knut Børø og Arne Kvalheim*. Fordypningsoppgave i friidrett. 1 år mellomfagstillegg i idrett. Oslo, Norges idrettshøgskole.
- Impellizzeri, F.M., Marcora, S.M., Rampinini, E., Mognoni, P., & Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 747-751.
- Ingham, S.A., Whyte, G.P., Pedlar, C., Bailey, D.M., Dunman, N., & Nevill, A.M. (2008). Determinants of 800-m and 1500-m running performance Using allometric models. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 345-350.
- Ingham, S.A., Fudge, B.W., & Pringle, J.S. (2012). Training distribution, physiological profile, and performance for a male international 1500-m runner. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 7(2):193-195.

Referanser

- Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48, 65-75.
- Jacobs, I. (1986). Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, 3(1), 10-25.
- Johnston, R.E., Quinn, T.J., Kertzer, R., & Vroman, N.B. (1995). Improving running economy through strength training. *Strength and Conditioning*, 17(4), 7-13.
- Jones, A.M., & Doust, J.H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321-327.
- Jones, A.M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373-386.
- Jones, A.M. (2006). The physiology of the world record holder for women's marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101-116.
- Joyner, M.J. (1991). Modeling - optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 683-687.
- Joyner, M.J., & Coyle, E.F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology-London*, 586(1), 35-44.
- Karikosk, O. (1984). Training volume in distance running. *Modern Athlete and Coach*, 22(2), 18-20.
- Karp, J.R. (2007). How They Train. *Running Times*, 351, 32-33.
- Keith, S.P., Jacobs, I. & McLellan, T.M. (1992). Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(4), 316-323.
- Krise, R., & Squires, B. (1982). *Fast Track, The history of distance running since 884 B.C.* Brattleboro, Vermont: The Stephen Green Press.
- Kåss, E. (2005). *Medisinsk ordbok* (5. ed.), Kunnskapsforlaget.
- Laffite, L.P., Mille-Hamard, L., Koralsztein, J.P., & Billat, V.L. (2003). The effects of interval training on oxygen pulse and performance in supra-threshold runs. *Archives of Physiology & Biochemistry*, 111(3), 202-210.

Referanser

- Lake, M.J., & Cavanagh, P.R. (1996). Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(7), 860-869.
- Larsen, H. (2001). Training principles in distance running. In J. Bangsbo & H.B. Larsen (Eds.), *Running & Science - in an Interdisciplinary Perspective*, 123-147. Copenhagen: Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard.
- Larsen, H.B. (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comparative Biochemistry and Physiology. A part, Molecular & Integrative Physiology*, 135, 161-170.
- Laursen, P.B., & Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
- Legaz-Arrese, A., Munguia-Izquierdo, D., Nuviala, A.N., Serveto-Galindo, O., Urdiales, D.M., & Masia, J.R. (2007). Average VO₂max as a function of running performances on different distances. *Science & Sports*, 22(1), 43-49.
- Legaz-Arrese, A., Munguia-Izquierdo, D., Carranza-Garcia, L.E., Reverter-Masia, J., Torres-Davila, C.G., & Medina-Rodriguez, R.E. (2011). The validity of incremental exercise testing in discriminating of physiological profiles in elite runners. *Acta Physiologica Hungarica*, 98(2), 147-156.
- Lehmann, M., Dickhuth, H. H., Gendrisch, G., Lazar, W., Thum, M., Kaminski, R., & Keul, J. (1991). Training - overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle-and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 12(5), 444-452.
- Lenzi, G (1983). *The womens marathon: preparing for an important event in the season*. Paper presented at the XII Congress European Coaches Association. Acoteias Portugal. 22/1-25/1.
- Lucia, A., Hoyos, J., Carvajal, A., & Chicharro, J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*, 20(3), 167-172.
- Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J.L. (2003). Tour de France versus Vuelta a E spana: which is harder? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(5), 872-878.

Referanser

- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gomez-Gallego, F., San Juan, A.F., Santiago, C., & Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, 31(5), 530-540.
- Lucia, A., Oliván, J., Bravo, J., Gonzalez-Freire, M., & Foster, C. (2008). The key to top-level endurance running performance: a unique example. *British Journal of Sports Medicine*, 42(3), 172-174.
- Lydiard, A., & Gilmour, G. (1978). *Running the Lydiard way*. California.
- Mader, A. (1991). Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 31(1), 1-19.
- Maffulli, N., Capasso, G., & Lancia, A. (1991). Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 31(3), 332-338.
- Mamen, A., Laparidist, C., & van den Tillaar, R. (2011). Precision in estimating maximal lactate steady state performance in running using a fixed blood lactate concentration or a delta value from an incremental lactate profile test. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 23(1), 212-224.
- Matwejew, L.P. (1972). *Periodisering des sportlichen Trainings*. Berlin: Bartels & Wernitz.
- Medbø, J.I., Mamen, A., Olsen, O.H., & Evertsen, F. (2000). Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*, 60, 367-380.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., & Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Medicine*, 36(2), 117-132.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., & Jones, A.M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Medicine*, 37(10), 857-880.

Referanser

- Noakes, T.D., & Tucker, R. (2004). Inverse relationship between VO₂max and economy in world class cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 1083-1086.
- Olsen, R., Berg, K., Latin, R., & Blanke, D. (1988). Comparison of two intense interval training programs on maximum oxygen uptake and running performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 28(2), 158-164.
- Overend, T.J., Paterson, D.H., & Cunningham, D.A. (1992). The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Canadian Journal of Sport Sciences-Revue Canadienne Des Sciences Du Sport*, 17(2), 129-134.
- Pate, R.R., Macera, C.A., Bailey, S.P., Bartoli, W.P., & Powell, K.E. (1992). Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(10), 1128-1133.
- Paton, C.D., & Hopkins, W.G. (2005). Seasonal changes in power of competitive cyclists: implication for monitoring performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(4), 375-381.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., et al. (1999). Explosive strength training improves 5km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527-33.
- Rabadan, M., Diaz, V., Calderon, F.J., Benito, P.J., Peinado, A.B., & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *Journal of Sports Sciences* 29(9): 975-982.
- Robergs, R.A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative & Comparative Physiology*, 56(3), 502-516.
- Robinson, D.M., Robinson, S.M., Hume, P.A., & Hopkins, W.G. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(9), 1078-1082.
- Saltin, B., & Åstrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.

Referanser

- Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C.K., & Rolf, C. J. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 209-221.
- Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., & Hawley, J.A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.
- Sawyer, B.J., Blessinger, J.R., Irving, B.A., Weltman, A., Patrie, J.T., & Gaesser, G.A. (2010). Walking and running economy: Inverse association with peak oxygen uptake. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(11), 2122-2127.
- Schumacher, Y.O., & Mueller, P. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(6), 1029-1036.
- Seiler, K.S., & Kjerland, G.Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an optimal distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49-56.
- Seiler, K.S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds and long slow distance: The role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience*, 24(5), 1340-1345.
- Seiler, K.S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 5(3), 276-291.
- Sjödin, B., Jacobs, I., & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, 49(1), 45-57.
- Sjödin, B., & Svedenhag, J. (1985). Applied physiology of marathon running. *Sports Medicine*, 2(2), 83-99.
- Sjödin, B., & Svedenhag, J. (1986). Effektern av spesiell styrketräning för medel- och långdistanslöpare *Rapport från Idrottens forskningsråds konferens på Bosön 1984*.
- Skah, K. (1997). *Training in Marokko*. Forelesning, Nordisk trenerkonferanse, Oslo, 9. november.

Referanser

- Smith, D., Telford, R., Peltola, E., & Tumilty, D. (2000). Protocols for the physiological assessment of high-performance runners, in: Gore, C.J., (Ed), *Physiological tests for elite athletes*, Australian Sports Commision, Human Kinetics, Campaign Il., 334-344.
- Smith, T.P., Coombes, J.S., & Geraghty, D.P. (2003). Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O₂ uptake and the time for which this can be maintained. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3/4), 337-343.
- Spencer, M.R., & Gatin, P.B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(1), 157-162.
- Steinacker, J.M., Lormes, W., Lehmann, M., & Altenburg, D. (1998). Training of rowers before world championships. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7), 1158-1163.
- Stellingwerff, T. (2012). Case study: Nutrition and training periodization in three elite marathon runners. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 22(5):392-400.
- Svedenhag, J. (1995). Maximal and submaximal oxygen uptake during running: how should body mass be accounted for? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 175-180.
- Svedenhag, J. (2000). Endurance Conditioning. in Shepard, R.J., & Åstrand, P.O. (Eds), *Endurance in Sport, The Encyclopaedia of Sports Medicine: an International Olympic Committee Publication*, in Collaboration with the International Federation of Sports Medicine (2nd ed.). Oxford: Blackwell.
- Tanaka, K., Watanabe, H., Konishi, Y., Mitsuzono, R., Sumida, S., Tanaka, S., & Nakadomo, F. (1986). Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 55(3), 248-252.
- Taylor, A.W., & Bachman, L. (1999). The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee* 24(1): 41-53.
- Temple, C. (1980). *Cross Country and Road Running*. London: Stanly Paul.

Referanser

- Tjelta, L.I. (1996). *En kartlegging og analyse av treningen til kvinnelige eliteløpere på langdistanse, sett i sammenheng med endringer av løpshastigheten ved anaerob terskel*. Hovedfagsoppgave, Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Tjelta, L. I. (2003). Mellom- og langdistanseløping i Kenya. *Kondis, nr 3*, 26-28.
- Tjelta, L. I. (2007). Britisk mellomdistansetrening i 1980 årene. *Kondis, nr 6*, 26-28.
- Tjelta, L.I., & Enoksen, E. (2001). Training volume and intensity In J. Bangsbo & H.B. Larsen (Eds), *Running & Science - in an interdisciplinary perspective*, 149-177. Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard.
- Tolfrey, K., Hansen, S.A., Dutton, K., McKee, T., & Jones, A.M. (2009). Physiological correlates of 2-mile run performance as determined using a novel on-demand treadmill. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 34(4), 763-772.
- Tønnessen, E. (2009). *Hvorfor ble de beste best? En casestudie av kvinnelig verdensenerer i orientering, langrenn og langdistanseløp*. Ph.d., Norges idrettshøgskole, Oslo.
- van Aaken, E. (1964). *Kritik des Intervalltrainings*. Freiburger Prangung aus Biochemie und Praxis, Eigenverlag.
- Verhoshansky, Y. (1999). The end of 'periodisation' in the training of high performance sport. *Modern Athlete & Coach*, 37(2), 14-18.
- Welde, B., & Vikander, N. O. (2000). Effect of training on dry land and on snow: training intensity and aerobic power of male junior cross country skiers. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 5, 44-66.
- Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Rutt, R., & Rogol, A. (1990). Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO₂max for determining endurance training intensity in male runners. *International Journal of Sports Medicine*, 11(3), 218-222.
- Weston, A.R., Mbambo. Z., & Myburgh, K.H. (2000) Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(6):1130-1134.

Referanser

- Widrick, J. J., Trappe, S.W., Blaser, C A., Costill, D. L., & Fitts, R.H. (1996). Isometric force and maximal shortening velocity of single muscle fibers from elite master runners. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 271(2), 666-675.
- Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (1999). *Physiology of Sport and Exercise* (2nd ed.): Human Kinetics.
- Wilt, F. (1973). *How They train* (Vol 2). Los Altos, California.
- Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K., Chida, M., Ichioka, M., Nakadomo, F., & Yamaguchi, T. (1990). Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(4), 249-253.
- Zapico, A.G., Calderon, F.J., Benito, P.J., Gonzalez, C.B., Parisi, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(2), 191-196.
- Zaryski, C. & Smith, D.J. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 4, 165-170.

7 Artikkel I-V

- I. Tjelta, L.I., Enoksen, E., Training Characteristics of Male Junior Cross Country and Track Runners on European Top Level, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2010; 5(2):193-203.
- II. Enoksen, E., Tjelta, A.R., Tjelta, L.I., Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2011; 6(2):273-293.
- III. Tjelta, L.I., Tønnessen, E., Enoksen, E., A Case Study of the Training to Nine Times New York Marathon Winner Grete Waitz, *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2014; 9(1), accepted 13.03.2013.
- IV. Tjelta, L.I., A Longitudinal Case Study of the Training of the 2012 European 1500 m Track Champion, *International Journal of Applied Sports Sciences*, accepted 19.03.2013.
- V. Tjelta, L.I., Tjelta, A.R., Dyrstad, S.M., Relationship between Velocity at Anaerobic Threshold and Factors Affecting Velocity at Anaerobic Threshold in Elite Distance Runners, *International Journal of Applied Sports Sciences*. 2012; 24 (1):8-17.

Artikel I

Training Characteristics of Male Junior Cross Country and Track Runners on European Top Level

Tjelta, Leif Inge¹ and Enoksen, Eystein²

¹University of Stavanger. Faculty of Arts and Education, N-4036 Stavanger, Norway

²Norwegian School of Sport Sciences. P.O.box 4014, Ullevål Stadion, 0806 Oslo, Norway

Corresponding:

Leif Inge Tjelta

leif.i.tjelta@uis.no

Telephone: +4751833523; mobile telephone: +4797 687 383

Key Words: Distance training, training volume, training intensity

Abstract

The purpose of the present study was to describe training characteristics of distance junior runners on European top level. The athletes training diaries for the 2008 season were analysed. The total training volume (km/week) performed over the different training periods was registered on five differentiated intensities. The results showed that during the building up period for the season the junior runners ran an average of 132.5 ± 25.9 km/week. 78.3 ± 4.7 % of their weekly training distance (km/week) was continuous running with a heart rate (HR) between 62-82 % of maximum. During the track competition season the total weekly running distance was 115 ± 22.9 km/week. The training in the three last months before the European Cross Country Championship was very similar to the training in the building up period. In 2008 three of four tested $\dot{V}O_{2\max}$, and the average was 79.2 ± 4.8 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹.

Key Words: distance training, training volume, training intensity

Introduction

The question of how to organize daily training to improve aerobic capacity in elite junior endurance athletes is a debated topic among coaches and researchers throughout the world, and several attempts have been made to construct a model of optimal endurance training^{1,2}. In a training program for long-distance runners the most essential exercise variables are training volume (km/week), training frequency (training units/week) and intensity distribution measured in percent of maximum heart rate ($\% \text{HR}_{\text{max}}$) or in percent of $\dot{V} \text{O}_{2\text{max}}$ ($\% \dot{V} \text{O}_{2\text{max}}$)^{3,4,5}. A consensus of how these parameters should interact to be optimized, however, remains elusive^{6,7}.

The research literature indicates three different basic models of training quantification and intensity distribution for elite endurance athletes^{8,9}.

A low intensity – high volume training model (1) emerges from a number of published observations of international rowers, cross country skiers, orienteering runners, cyclists and elite long-distance and marathon runners, suggesting that 80-85 % of the total training volume (km/week) should be executed with an intensity below the anaerobic threshold and 15-20 % of the training volume clearly above the anaerobic threshold^{2,4,10,11,12,13,14}.

A review of the literature shows that the most successful long-distance runners do work load between 150-200 km/week during a training year^{10,15,16}. Estavo-Lanao et al.¹⁷ analysed the total training volume of eight regional Spanish runners (23-28 years) over a period of six months leading up to the Spanish Cross Country Championship. The best performance in 1500m and 5000m track races averaged 85.8 and 82.1 %, respectively, of the world record. The study showed that athletes on a regional level performed 70-80 % of their training with low intensity ($< 60 - 70 \% \text{ of } \text{HR}_{\text{max}}$), 10-20 % of the training with moderate intensity (70 – 85 % of HR_{max}) and 8-10 % with high intensity (85-100 % of HR_{max})^{17,18}.

The anaerobic threshold training model (2) (training at the individual anaerobic threshold pace (vAT)) observed both through training practice and investigations, is beneficial for the aerobic training response^{19,20}. Some studies argue for the relevance of greater training volume at intensities around the anaerobic threshold^{21,22,23}. Simoes et al.²⁴ suggest that the moderate intensity domain can be sustained without lactate accumulation and may be used for long-term running exercise. Several studies indicate that training done at an intensity of 82-92 % of HR_{max} (80-87 % of $\dot{V} \text{O}_{2\text{max}}$) is favourable in order to improve performances in long-distance running^{25,26,27}. Kenyan runners also do a lot of training at this intensity²⁸. Billat et al. reported

increased $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ in elite marathon runners as a result of more training at marathon pace which is close to $v\text{AT}^{29}$.

Some studies have also demonstrated increased $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in athletes when a high-intensity training model (3) replaced training performed at low- and moderate intensities^{29,30}. Other studies that incorporated training intensities of 90-100 % of $\dot{V}O_{2\text{max}}$ reported similar but insignificant increases in $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ^{31,32,33,34}. In a study of moderate trained athletes Helgerud et al.³⁵ found that aerobic high intensity training improved $\dot{V}O_{2\text{max}}$ more than moderate training. Acevedo and Goldfarb³⁶, however, reported that inclusion of training close to $\dot{V}O_{2\text{max}}$ did not enhance $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in well trained distance runners. Studies by Burgomaster et al.³⁷ and Berger et al.³⁸, however, found similar metabolic adaptations in untrained persons, when intensive interval training was compared with traditional endurance training over a period of six weeks. There is a continuous debate among coaches and researchers as to how the training process should be organized to combine the training components needed to improve performance in endurance events. To increase our knowledge of long-distance training and performance, more longitudinal studies are needed to describe how training volume and intensity distribution have to interact in a training program to optimize performance^{7,39}. Presently no studies have examined the complex combination of high volume of low intensity combined with high volume on relatively high intensity in the different training- and competitive periods of a macro-cycle (a year). There is a need for more data from field conditions and competitions rather than laboratory testing.

The aim of the present study is to bring forward supplementary information about the total training volume (km/week), training frequency and intensity distribution of four male European top level junior distance-runners during the building up period, the track competition season and the cross country competition season.

Methods

Subjects

Four junior male long-distance runners (17.8 ± 1 year) who won the team competition in the Nordic Cross Country Championship in 2008 volunteered to participate in the study.

The athletes came second in the team competition in the European Cross Country Championship in 2008; finishing no 2, 10, 16 and 23. One of the runners was Junior World Champion in mountain running in 2008, and one was Norwegian Junior Champion in cross-country skiing. The personal records, all set in 2008, for the participants were; 1500m (n = 4)

3:55.10 \pm 3.00sec, 3000m (n = 4) 8.19:01 \pm 4:99 sec and 5000m (n = 3) 14:29.98 \pm 21.23 sec. Including the 2008 season, the participants had been doing serious distance training for 4 \pm 1.9 years. All participants gave their written voluntary consent.

Individual training diaries

Each athlete was asked to send in his training diary for 2008 for analyses. The training registration protocol in the present study was established based on the intensity zones and duration of training recommended by the Norwegian Olympic Training Centre⁴⁰. The table consists of five standardized intensity-zones defined in terms of % of maximum heart rate (% of HR_{max}), blood lactate concentrations, racing speed and duration of training sessions. The reported training is classified according to these zones which are listed in table 1.

The training reported in the diaries were thoroughly calculated trying to estimate; a) the average number of training sessions for the preparation period (January-April), the track competition season (May-August) and the cross country competition season (September-December); b) mean training volume (km/week); c) distribution of training on the prescribed intensities (% of HR_{max}); d) the average number of continuous running sessions and interval workouts executed at the prescribed intensities in % of HR_{max} and; e) number of weekly sprint and strength training workouts. In order to describe the training more in detail a weekly training program from the track competition season for two of the athletes, are presented to give examples of the performed training volume and intensity distribution of the runners (table 3 and 4).

The athletes were told by their coaches to use heart rate (measured by Polar Sport tester S610, Polar Electro OY, Kempele, Finland), speed (min/km) and lactate samples for calibrating the speed during interval sessions and hard continuous runs. Three of the athletes used heart rate monitors on all their training, the fourth now and then. Training performed at intensities around 90 % of HR_{max} (85 % of $\dot{V}O_{2max}$) was referred to as the anaerobic threshold intensity as well by the subjects as their coaches. Measurements of Norwegian elite endurance athletes individual anaerobic threshold during the last 30 years, show that HR at vAT is in this area⁴⁰. They all reported lactate measured at this intensity by Lactate Pro LT – 1710TM (ArkRay Inc, Koyota, Japan) to be in the area from 2.0 to 4.5 mmol. The identification of heart rate at the anaerobic threshold made it possible to quantify the amount of training performed in each intensity zone. Lactate and HF on interval workouts and continuous running were systematically controlled on monthly national training camps.

$\dot{V}O_{2max}$ tests

After 30 to 40 min warm-up, the athletes performed the $\dot{V}O_{2max}$ tests on a treadmill (Woodway ELG 2, Weil am Rhein, Germany). To equalize the lack of air resistance on the treadmill compared to running on the track, an inclination of 1.7 % was used. The oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) was measured through a two-ways mouth piece (Hans Rudolph Instr. USA) and a sling connected to O_2 and CO_2 analyzer (Vmax 29 sensor, Medics Corporation, Yorba Linda, CA, USA). To monitor heart rate (HR) a pulse transmitter (Polar Sport Tester S610, Polar Electro OY, Kempele, Finland) was attached around the participant's breast. The pulse belt sent HR signals to a pulse watch (Polar Accurex Plus, Polar Electro OY, Kempele, Finland). The test was initiated with a 5-min period of 11 km/h to ensure stable baseline ventilator measurements, followed by 1 km/h per min increase in velocity every 30-s until the athlete reached a speed he felt he could sustain for two more minutes. From here he ran to exhaustion. $\dot{V}O_{2max}$ was defined as the highest 60-s average achieved during the test.

Statistical analysis

Data are presented as means \pm standard deviation. The validity of data is shown through the systematic detailed descriptions, the process of analyses and the results.

Results

VO_{2max}

Test results of three of the four runners in this study show that $\dot{V}O_{2max}$ was $79.2 \pm 4.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Frequency of training

During the building up period the athletes reported an average of 11 ± 2 training sessions. In the track competition season and cross country season the average number of training sessions was 10 ± 2 and 11 ± 2 , respectively.

Competitions

The athletes took part in 23.8 ± 6.8 track or cross country races.

Mean training volume

During the building up period the athletes reported an average of 132.5 ± 25.9 km/week (table 2). The total training volume was reduced in the track competition season to 115 ± 22.9 km/week. In the cross country season the training volume was reported to be at a little higher than in the building up period (145 ± 22.9 km/week).

Intensity distribution

Building up period

78.3 ± 4.7 % of their weekly training distance (km/week) during the building up period was continuous running with a HR between 65-82 % of HR_{max} (zone 1 in table 2). 19.5 ± 5.4 % of the training volume was done as anaerobic threshold training with a heart rate between 82 and 92 % of HR_{max} (zone 2 in table 2). The training reported in zone 2 (table 2) is mainly interval sessions, but some hard continuous runs are also included. The athletes did from two to four sessions per week in zone 2. The number differed from one week to another according to the planned training structure. The total distance run in the different interval sessions carried out in zone 2 (warm up and jog down are not included) was between 8 and 14 km (26 to 47 min). Only 1.3 ± 1.4 % of the total training volume in this period was reported to be between 92 and 97 % of HR_{max} (zone 3 in table 2). 0.5 ± 0.2 % is reported to be strides or speed training (zone 5 in table 2).

Track competition season

In the track competition season less training is carried out as anaerobic threshold training. The amount of training in 10000m, 5000m and 3000m race pace (aerobic capacity training) and competitions on these distances, however, listed in zone 3, has increased from 1.3 ± 1.4 % in the building up period to 4.8 ± 3.2 % in this period. Training in 800m- and 1500m pace (anaerobic capacity training) and competitions on these distances are 0.9 ± 1.3 % of the total running volume and listed in zone 4.

Cross country competition season

As we can see from table 2, the training in the cross country competition season is very similar to the training in the building up period. The total running volume (km/week), however, is higher. The volume reported in zone 3 is also higher. This is due to the fact that cross country competitions over distances from 5 to 8 km are listed in this zone.

Speed and strength training

All four runners reported some kind of general strength training. This training was not specified in detail in their training diaries and is not listed in table 2.

Discussion

Training volume

The four young distance runners in this study made great progress on all track distances and competed well in cross country competitions in 2008. According to the literature this improvement may be due to the high training volume (km/week) at low intensities (62-82 % of HR_{max}), performed both in the building up period and in the competition seasons^{12,41}. They ran an average of 11 ± 2 sessions and a mean volume of 132.5 ± 25.9 km/ week, and 10 ± 2 running sessions and a mean volume of 115.7 ± 22.9 km/ week in the building up period and track competition season, respectively. In the cross country season they ran 11 ± 2 sessions and a mean volume of 145 ± 22.9 km/ week. The average weekly distance run over the 6-month period for the subjects in the study of Estavo-Lanao et al.¹⁷ was 70 km/week. This is far below the average running distance of the subjects in the present study. It is primarily the number of km/ week spent at low intensities that is the great difference. According to the suggestion in the study of Estavo-Lanao et al.¹⁷, the total training time spent at low intensities might be associated with improved performance. This may be one of the reasons why the subjects in this study, even if they are younger (17.8 ± 1 year versus 23 ± 2 years), performed better than the subjects in the study of Estavo-Lanao et al.¹⁷. While the best performance of the athletes in 1500m and 5000m track races in the Spanish study¹⁷ averaged 85.8 and 82.1 %, respectively, of the word record, the runners in this study averaged 87.7 and 87.0 % of the word record on the same distances.

It has to be emphasized that the young runners in this study performed a total volume (km/week) which is higher than the observed training in previous studies of young elite cross country skiers² and middle- and long-distance runners^{10,17,18,42}.

From the literature we know that the traditional low intensity training model (62-82 % of HF_{max}) performed with a total running volume of 150-200 km per week, can lead to very good results for long-distance runners who have provided progression in training loads over many years. This model emerges from observations of outstanding distance runners over the last 5 decades^{15,16,43}.

The marked improvement of the junior distance runners during the building up period and the competition seasons shows that the changes in running performance have not been by chance,

but is due to the amount of training performed. This may indicate a moderate relationship between improved aerobic capacity and running performance. Improvement in $\dot{V}O_{2\max}$, the fractional utilization of $\dot{V}O_{2\max}$ and running economy is usually expected to be a result of a large running volume performed in a training period⁴⁴. $\dot{V}O_{2\max}$ is one of the most important determinants of endurance running⁶. Some researchers claim that endurance training with low intensity has minimal effect in developing $\dot{V}O_{2\max}$ ³⁵. Test results from three of the four runners in this study, however, show that $\dot{V}O_{2\max}$ was $79.2 \pm 4.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. The best long-distance runner, who finished 2nd in the European Cross Country Championship, is the one that did not test $\dot{V}O_{2\max}$ in 2008. Although the $\dot{V}O_{2\max}$ may be a limiting factor for the performance in typical endurance events, the fractional utilization of $\dot{V}O_{2\max}$ and running economy may also be of great importance for success^{39,45,46}. According to the scientific literature a moderate correlation is observed between the fractional utilization of $\dot{V}O_{2\max}$ and running performance^{47,48,49}. The trainability of running economy, however, shows conflicting results. Some studies have shown that training volume significantly improved running economy^{26,35,50,51}, while other studies have shown no improvement^{52,53}.

Training intensity

The question remains if there is an optimal intensity distribution of training which should be recommended for young, talented middle- and long-distance runners? The main finding in the present study was that in the building up period 78.3 \pm 4.7 % of the total volume (km/week) was executed below anaerobic threshold and 19.6 \pm 5.4 % at the anaerobic threshold. In the two competition seasons 11.7 \pm 3.3 % and 17.9 \pm 5.9 % of the training volume was performed at the anaerobic threshold.

The high volume of interval training close to the anaerobic threshold might have resulted in favourable improvements of aerobic capacity parameters like: vAT, $\dot{V}O_{2\max}$, fractional utilization of $\dot{V}O_{2\max}$ and running economy. The advantage of anaerobic threshold training is that one can have relatively high training volume on each training workout. This may lead to increased capacity of oxygen transportation and improved running economy. Researchers and expert coaches of top international athletes underline the importance of the close to anaerobic threshold training to develop running economy which is needed to perform on a high level in long distance-running⁴⁵. According to Svedenhag⁵⁴, increased vAT may correspond to changes in running economy and $\dot{V}O_{2\max}$.

There is a disagreement in the literature how workouts below, at or above the anaerobic threshold influence performance in endurance events. According to Helgerud³⁵ training with high intensity (90-95 % of HR_{max}) results in faster and more effectively improvements of the aerobic system than low intensity training. Other studies, however, have found similar metabolic adaptations in untrained persons, when intensive interval training was compared with traditional endurance training^{37,38}.

The training data from the present study show that approximately 80 % of the total amount of aerobic endurance training, in the building up period, was done below the anaerobic threshold and 20 % of the training volume with intensities at the anaerobic threshold. This tendency was also found in other training-studies^{19,24,27}. Due to competitions and training in specific race pace, more high intensity training is done in the competition seasons.

Anaerobic threshold training versus training in specific race pace

In the track competition season the athletes ran from one to three interval sessions at intensities around the anaerobic threshold and one to two sessions at race pace. It is important to point out, however, that the athletes never ran three sessions at race pace and three anaerobic threshold sessions in the same week during the track competition season. A normal distribution reported by the athletes could for instance be two sessions at race pace and two anaerobic threshold sessions, or one session at race pace and two to three anaerobic threshold sessions.

In table 3 we can see that athlete A in a competition free week, in the track competition season, ran three anaerobic threshold workouts, classified as zone 2 sessions (Tuesday p.m., Saturday a.m. and Saturday p.m.). Progressive running (Tuesday p.m.) means that the athlete starts to run the first 6 km with HR 70-75 % of HR_{max}, followed by 5 km with HR 75-82 % of HR_{max}, and then 5 km with HR 82-92% of HR_{max}. One session (Thursday p.m.) is carried out in 5000m/10000m race pace, zone 3.

In table 4 we see a week containing an important competition for athlete D. In addition to the 1500m competition (Tuesday p.m.) he includes a session in 800m race pace, zone 4 (Thursday p.m.) and one session at anaerobic threshold pace, zone 2 (Sunday p.m.).

It is important to point out that in the track competition season the weekly training differs more between runners and from week to week, than in the building up period. For each individual runner the weekly training program differs according to races, racing distance and importance of the race. This is shown in table 3 and 4. Runner A is a long-distance runner

who at an age of 17 ran 14:02.95 on 5000m in 2008. Runner D, also 17 years old in 2008, is a middle-distance runner who ran 3:50.63 on 1500m.

Conclusion

Newer studies on moderate and well trained endurance athletes have demonstrated increased $\dot{V}O_{2\max}$ in endurance athletes when a high-intensity training (90-100 % of HR_{\max}) replaced training performed at low- and moderate intensities^{29,30,32,34,35}. Many coaches and athletes in different endurance events have recently incorporated this training strategy in their practical training workouts in order to optimize performance.

The main findings in this study, however, was that a relatively high training volume with low intensity (62-82% of HR_{\max}) combined with training close to the anaerobic threshold (82-92% of HR_{\max}) was beneficial for the development of $\dot{V}O_{2\max}$ and running performance in track- and cross country competitions in elite junior middle- and long-distance runners.

Among Norwegian national coaches and endurance athletes there is a consensus that a high weekly training volume based on continuous running combined with two, three or four workouts at anaerobic threshold pace in the building up period, and more emphasis on training workouts at actual race pace in the competition seasons, is a success factor.

Future research should focus on the effect of endurance training comparing the amount of intensity distribution of training below, at and above the anaerobic threshold zone for longer periods in well trained athletes. This could increase our knowledge of the significance of high training volume and intensity distribution in order to develop aerobic and anaerobic capacity in elite middle- and long-distance runners.

Table 1: Lactate, HR in % of HR_{max} and effect of training in different intensity zones

<i>Training zone / kind of training</i>	<i>Lactate (mmol/l) LT-1710</i>	<i>HR in % of HR_{max}</i>	<i>Effect</i>
1: Easy and moderate running	0.7-2.0	62-82 %	Running economy
2: Marathon and half-marathon pace	2.0-4.5	82-92 %	Anaerobic threshold pace
3: 10000m-3000m pace	4.5-8.0	92-97 %	$\dot{V}O_{2max}$ / aerobic capacity
4: 1500m-400m pace	above 8	97-100 %	Anaerobic capacity
5: Sprint / strides			Speed

Table 2: Average total running distance in km / week , and average running distance in different intensity zones, in the building up season, the track competition season and in the cross country season

	<i>Building up period (January-April)</i>	<i>Track competition season (May-August)</i>	<i>Cross Country season (September-December)</i>
Total km /week ⁻¹	132.5 +/- 25.9 km	115.1 +/- 22.9 km	145 +/- (22.9 km)
Zone 1 (62-82 % of HF max)	103.5 +/- 20.4 km (78.3 +/- 4.7 %)	93.4 +/- 16.7 km (81.4 +/- 3.9 %)	113.3 +/- 23.2 km (78.1 +/- 6.9 %)
Zone 2 (82-92 % of HF max)	26 +/- 9.8 km (19.6 +/-5.4 %)	13,5 +/- 6.8 km (11.7 +/- 3.3 %)	26 +/- 9.2 km (17.9 +/- 5.9 %)
Zone 3: 10000-3000m pace	2 +/- 2,1 km (1.3 +/- 1.4%)	5.5 +/- 3.3 km (4.8 +/- 3.2 %)	4.3 +/- 3.5 km (2.9 +/- 3.5 %)
Zone 4: 1500m-400m pace	0	1,4 +/- 1.2km (0.9 +/- 1.3 %)	0
Zone 5: sprint / strides	1 +/- 1 km (0.5 +/- 0.2 %)	1,3 +/- 0.4 km (1.2 +/- 0.5 %)	1.4 +/- 0.5km (1 +/- 0.3%)

Table 3: A training week in the track competition season (June) for runner A

<i>Day</i>	<i>Am</i>	<i>Pm</i>
Monday		18 km easy continuous running + general strength training
Tuesday	14km easy continuous running	16 km progressive running (75-90 % of HR _{max})
Wednesday	13 km easy continuous running	19 km easy continuous running
Thursday	10 km easy continuous running	Warm up 4 km+6x80m strides+ +20x400m (10000m /5000m pace), recovery 100m jog + 4 km jog
Friday		19 km min easy continuous running +8x60m sprint and drills + general strength training
Saturday	12 km progressive running (80-90 % of HR max)	Warm up 4 km +7x2000m (90 % of HR _{max}), recovery 60 sec jog + 4 km jog
Sunday	26 km easy continuous running	

Table 4: A training week in the track competition period (June) for runner D

<i>Day</i>	<i>Am</i>	<i>Pm</i>
Monday	6km easy continuous running	7km easy continuous running + 4 x 80m strides
Tuesday	4km jog + 4 x 100m strides	(30min warm up + strides) 1500m competition; 3:51.56 (PB) (20 min jog + strides)
Wednesday	9km easy continuous running	13km easy continuous running
Thursday	9km easy continuous running	20 min jog + drills/strides + 3 x 2x200m (26.5- 28.3). recovery: 200mjog, 400m jog between sets + 15 min jog
Friday	7km easy continuous running	10 km easy continuous running + 4 x 90m strides
Saturday		11km min easy continuous running
Sunday	7km easy continuous running	20min warm up + drills + 8 x1000m, 90 % of HR _{max} (3:33 – 3:19), recovery 60 sec + 6 x100m strides + 18 min jog

References:

1. Garcin, M., Fleury, A., Ansart, N., Mille-Hamard, L., Billat, V., Training Content and Potential Impact on Performance, A Comparison of Young Male and Female Endurance-Trained Runners, Research Quarterly for Exercise & Sport, 2006, 77(3), 351-361.
2. Seiler, K.S., Kjerland, G.Ø., Quantifying Training Intensity Distribution in Elite Endurance Athletes, Is there Evidence for an Optimal Distribution? Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2006, 16(1), 49-56.
3. Wenger, H.A., Bell, G.J., The Interactions of Intensity, Frequency and Duration of Exercise Training in Altering Cardiorespiratory Fitness, Sports Medicine, 1986, 3(5), 346-356.
4. Ferreira, R.L., Rolim, R., The Evolution of Marathon Training: A Comparative Analysis of Elite Runners' Training Programmes, New Studies in Athletics, 2006, 21(1), 29-37.
5. Karp, J.R., How They Train, Running Times, 2007, (351), 32-33.
6. Brandon, L.J., Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance, Sports Medicine, 1995, 19(4), 268-277.
7. Berg, K., Endurance Training and Performance in Runners, Sports Medicine, 2003, 33(1), 59.
8. Gaskill, S.E., Fitness Cross-Country Skiing, Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1998.
9. Noakes, T.D., Physiological Capacity of the Elite Runner, In: Bangsbo, J., Larsen, H.B., editors, Running & Science - In an Interdisciplinary Perspective, Institute of Exercise and Sports Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard, Copenhagen, 2001, 19-47.
10. Billat, V.L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., Koralsztejn, J.P., Physical and Training Characteristics of Top-Class Marathon Runners, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2001, 33(12), 2089-2097.
11. Steinacker, J.M., Lormes, W., Lehmann, M., Altenburg, D., Training of Rowers before World Championships, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1998, 30(7), 1158-1163.
12. Tønnessen, E., Hvorfor ble de beste best? En casestudie av kvinnelig verdensener i orientering, langrenn og langdistanseløp, PhD Thesis, Norges idrettshøgskole, Oslo, 2009.
13. Fiskerstrand, A., Seiler, K.S., Training and Performance Characteristics among Norwegian International Rowers 1970-2001, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2004, 14(5), 303-310.
14. Gaskill, S.E., Serfass, R.C., Bacharach, D.W., Kelly, J.M., Responses to Training in Cross-Country Skiers, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1999, 31(8), 1211-1217.
15. Tjelta, L.I., Enoksen, E., Training Volume and Intensity, In: Bangsbo, J., Larsen, H.B., editors, Running & Science - In an Interdisciplinary Perspective, Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard, Copenhagen, 2001, 149-177.
16. Karikoski, O., Training Volume in Distance Running, Modern Athlete and Coach, 1984, 22(2), 18-20.
17. Esteve-Lanao, J., San Juan, A.F., Earnest, C.P., Foster, C., Lucia, A., How Do Endurance Runners Actually Train? Relationship with Competition Performance, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2005, 37(3), 496-504.
18. Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., Lucia, A., Impact of Training Intensity Distribution on Performance in Endurance Athletes, Journal of Strength & Conditioning Research, 2007, 21(3), 943-949.
19. Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Rutt, R., et al., Percentages of Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve and VO₂max for Determining Endurance Training Intensity in Male Runners, International Journal of Sports Medicine, 1990, 11(3), 218-222.
20. Mader, A., Evaluation of the Endurance Performance of Marathon Runners and Theoretical Analysis of Test Results, Journal of Sports Medicine & Physical Fitness, 1991, 31(1), 1-19.

21. Carter, H., Jones, A.M., Doust, J.H., Effect of 6 Weeks of Endurance Training on the Lactate Minimum Speed, Journal of Sports Sciences, 1999, 17(12), 957-967.
22. Billat, V.L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., Koralsztein, J.P., Interval Training at VO₂max: Effects on Aerobic Performance and Overtraining markers, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1999, 31(1), 156-163.
23. Welde, B., Vikander, N.O., Effect of Training on Dry Land and on Snow: Training Intensity and Aerobic Power of Male Junior Cross Country Skiers. Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis, 2000, 5, 44-66.
24. Simoes, H.G., Denadai, B.S., Baldissera, V., Campbell, C.S.G., Hill, D.W., Relationships and Significance of Lactate Minimum, Critical Velocity, Heart Rate Deflection and 3000 m Track-Tests for Running, Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 2005, 45(4), 441-451.
25. Evertsen, F., Medbø, J.I., Jebens, E., Gjøvaag, T.F., Effect of Training on the Activity of Five Muscle Enzymes Studied on Elite Cross-Country Skiers, Acta Physiologica Scandinavica, 1999, 167(3), 247-257.
26. Sjödin, B., Jacobs, I., Svendenhag, J., Changes in Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) and Muscle Enzymes after Training at OBLA, European Journal of Applied Physiology, 1982, 49(1), 45-57.
27. Keith, S.P., Jacobs, I., McLellan, T.M., Adaptations to Training at the Individual Anaerobic Threshold, European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1992, 65(4), 316-323.
28. Coetzer, P., Noakes, T.D., Sanders, B., Lamberty, M.I., Bosch, A.N., Wiggins, T., et al., Superior Fatigue Resistance of Elite Black South African Distance Runners, Journal of Applied Physiology, 1993, 75(4), 1822-1827.
29. Billat, V., Demarle, A., Paiva, M., Koralsztein, J.P., Effect of Training on the Physiological Factors of Performance in Elite Marathon Runners (Males and Females), International Journal of Sports Medicine, 2002, 23(5), 336-341.
30. Laursen, P.B., Jenkins, D.G., The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training: Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes, Sports Medicine, 2002, 32(1), 53-73.
31. Smith, T.P., McNaughton, L.R., Marshall, K.J., Effects of 4-Wk Training Using V_{max}/T_{max} on VO₂max and Performance in Athletes, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1999, 31(6), 892-896.
32. Smith, T.P., Coombes, J.S., Geraghty, D.P., Optimising High-Intensity Treadmill Training Using the Running Speed at Maximal O₂ Uptake and the Time for Which this Can Be Maintained, European Journal of Applied Physiology, 2003, 89(3/4), 337-343.
33. Mikesell, K.A., Dudley, G.A., Influence of Intense Endurance Training on Aerobic Power of Competitive Distance Runners, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1984, 16(4), 371-375.
34. Laffite, L.P., Mille-Hamard, L., Koralsztein, J.P., Billat, V.L., The Effects of Interval Training on Oxygen Pulse and Performance in Supra-Threshold Runs, Archives of Physiology & Biochemistry, 2003, 111(3), 202-210.
35. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., et al., Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO₂max More Than Moderate Training, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2007, 39(4), 665-71.
36. Acevedo EO., Goldfarb, A.H., Increased Training Intensity Effects on Plasma Lactate, Ventilatory Threshold, and Endurance, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1989, 21(5), 563-568.
37. Burgomaster, K.A., Howart, K.R., Stuart, M.P., Rakobowchuk, M., MacDonald, J.M., McGee SL, et al., Similar Metabolic Adaptations During Exercise after Low Volume Sprint

- Interval and Traditional Endurance Training in Humans, The Journal Of Physiology, 2008, 586(1), 151-160.
38. Berger, N.J., Williams, A.G., Jones, A.M., Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake on-Kinetics. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2006, 38(3), 504-512.
39. Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Wilkinson, M., Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners? Empirical Research Findings, Current Opinions, Physiological Rationale and Practical Recommendations, Sports Medicine, 2006, 36(2), 117-132.
40. Frøyd, C., Madsen, Ø., Sæterdal, R., Tønnessen, E., Wistnes, A., Utholdenhet - trening som gir resultater, Akilles, Oslo, 2005.
41. Kaggstad, J., So Trainirt Ingrid Kristiansen 1986, Leichtatletik, 1987, 38, 831-834.
42. Larsen, H., Training Principles in Distance Running, In: Bangsbo, J., Larsen, H.B., editors, Running & Science - in an Interdisciplinary Perspective, Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard, Copenhagen, 2001, 123-147.
43. Noakes, T.D., Lore of Running 4th ed, Campaign, Illinois, 2003.
44. Helgerud, J., Engen, L.C., Wisløff, U., Hoff, J., Aerobic Endurance Training Improves Soccer Performance, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2001, 33(11), 1925-1931.
45. Foster, C., Lucia, A., Running Economy - The Forgotten Factor in Elite Performance, Sports Medicine, 2007, 37(4-5), 316-319.
46. Åstrand, P.O., Rodal, K., Strømme, S.B., Textbook of Work Physiology 4th ed, Human Kinetics, New York, 2003.
47. Sjödín, B., Svedenhag, J., Applied Physiology of Marathon Running, Sports Medicine, 1985, 2(2), 83-99.
48. Maughan, R.J., Leiper, J.B., Aerobic Capacity and Fractional Utilisation of Aerobic Capacity in Elite and Non-Elite Male and Female Marathon Runners, European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology, 1983, 52(1), 80-87.
49. Costill, D.L., Thomsen, H., Roberts, E., Fractional Utilization of the Aerobic Capacity During Distance Running, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1973, 5, 248-252.
50. Svedenhag, J., Sjödín, B., Physiological Characteristics of Elite Male Runners in and off-Season, Canadian Journal of Applied Sport Sciences, 1985, 10(3), 127-133.
51. Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S., Pedersen, P.K., Improved Running Economy Following Intensified Training Correlates with Reduced Ventilatory Demands, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1998, 30(8), 1250-1256.
52. Larsen, H.B., Nolan, T., Borch, C., Sondergaard, H., Training Response of Adolescent Kenyan Town and Village Boys to Endurance Running, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2005, 15(1), 48-57.
53. Lake, M.J., Cavanagh, P.R., Six Weeks of Training Does not Change Running Mechanics or Improve Running Economy, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1996, 28(7), 860-869.
54. Svedenhag, J., Sjödín, B., Body-Mass-Modified Running Economy and Step Length in Elite Male Middle- and Long-Distance Runners, International Journal of Sports Medicine, 1994, 15(6), 305-310.

Artikel II

Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners

Eystein Enoksen¹, Asle Rønning Tjelta², Leif Inge Tjelta³

¹Norwegian School of Sport Sciences, Department of Physical Performance, P.O.Box 4014, Ullevål Stadion, N-0806 Oslo, Norway

²Telemark University College, Faculty of Arts and Sciences, N-3833 Bø i Telemark, Norway

³University of Stavanger, Faculty of Arts and Education, N-4036 Stavanger, Norway

Corresponding: eystein.enoksen@nih.no

Abstract

The aim of this study was to compare training volume and the distribution of training intensity of six of the best long distance runners in Norway from the last decade.

Three international-level long distance runners (two males and one female) and three marathon runners (one male and two females) were included. The runners' training diaries for one of the seasons they competed in an international championship were analysed. The reported running volume (km/week) was used to estimate the distribution of training at the prescribed intensity zones in representative weeks in the preparation period and in the competition season.

During the preparation period (November - February) the marathon runners ran an average of 186.6 ± 25.7 km/week and the track runners 161 ± 11 km/week. For all runners, 80 ± 5 % of the weekly training distance (km/week) in this period was continuous running with a heart rate (HR) between 65-82 % of maximum. The remaining 20 % of total training volume (km/week) was performed at intensities near and above the anaerobic threshold (82-92 % of HR_{max}). This was done in three to five weekly interval sessions or continuous running sessions. All athletes ran 11 - 13 sessions per week. The training volume (km/week) in the pre-competition period and the competition season did not differ much from the volume in the preparation period. The track runners increased the amount of high intensity training at specific race pace in the pre-competition period (March and April), and in the track competition season (May - September).

Key Words: *elite runners, long-distance training, training volume, training intensity*

Introduction

The research literature indicates that the strongest predictors of long distance running performance are maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$)¹, running economy (RE)^{2,3} and the velocity at anaerobic threshold (vAT)^{4,5}. Research has also shown that there is a marked variability between individuals in their physiological response to a standardized training program, indicating different trainability^{6,7}.

How to train to improve aerobic capacity ($\dot{V}O_{2\max}$) in well-trained long distance runners, is a debated topic among coaches and researchers throughout the world⁸⁻¹¹. Many attempts have been made to develop a long distance training model that optimizes physiological adaptations and enhances performance¹²⁻¹⁵. A consensus on how the exercise variables training volume (km/week), training frequency (training units/week) and distribution of training intensity measured in percent of maximum heart rate (% of HR_{max}) should interact in the different meso-cycles when developing an optimal training program remains elusive¹¹.

A review of the research literature shows that many of the most successful long distance runners do workloads of 150-260 km per week during a normal season¹²⁻¹⁷. The training of international marathon runners is based on one of two basic models: model 1) workloads with an average of 200-260 km/week based on high training volume at low intensity (< 60-75 % of $\dot{V}O_{2\max}$); and model 2) workloads with an average of 150-200 km/week with a greater proportion of the running at higher intensities (80-87 % of $\dot{V}O_{2\max}$). Both models have been shown to be beneficial for performance at a high international level¹³.

The significance of training intensity in endurance events has been studied extensively over the years, but it has not yet been identified which combination of training at different intensity levels is most advantageous for the development of aerobic capacity and performance in the yearly meso-cycles. Recently, several training intervention studies have examined the effect of high intensity training¹⁸⁻²⁰. In these studies, moderately-trained athletes performed high intensity interval training (85-95 % of $\dot{V}O_{2\max}$), and results suggest that a high intensity training model also enhances performance in highly-trained endurance athletes. Some studies have also shown that continuous running at moderate intensity (75-85 % of $\dot{V}O_{2\max}$) with a duration of 30-50 minutes can stimulate an increase in aerobic capacity ($\dot{V}O_{2\max}$) in moderately-trained endurance athletes^{10,19}.

Other studies have shown significant improvements in $\dot{V}O_{2\max}$ and running speed at anaerobic threshold (vAT) in elite endurance athletes using the anaerobic threshold training model (80-87 % of $\dot{V}O_{2\max}$ / 82-92 % of HR_{\max})²¹⁻²³. Indeed, the runners with greatest success, the Kenyan runners, do a lot of training at this intensity^{24,25}. Experienced coaches and researchers emphasize that training at vAT is the most likely to develop aerobic capacity and specific endurance for long distance runners^{22,26,27}.

Newer studies conducted with well-trained long distance runners, however, indicate a stronger correlation between performance and high training volume at lower intensity (< 60-75 % of $\dot{V}O_{2\max}$), than lower training volume at moderate and high intensities^{12,28,29}.

In a review article, Berg³⁰ discusses several limitations in running research, and identifies several areas where research is needed to enhance our knowledge of running performance, including a further examination of training methods. A review of literature shows that the development of training methods has traditionally been based on short-term studies that used untrained or moderately-trained individuals, coupled with anecdotal evidence from experienced coaches and successful athletes¹¹. It remains unclear how physical adaptations that occur in untrained subjects and highly-trained subjects differ³¹. Because of the gap in our knowledge of how training volume (km/week) and intensity distribution (% of HR_{\max}) should interact in a training program intended to develop aerobic capacity ($\dot{V}O_{2\max}$)³² and performance in long distance runners, more longitudinal studies are needed²². This accounts for more systematised data from field conditions and practical training experience rather than laboratory testing³⁰ and should also include the periodization of training loads in the different meso-cycles of a year to optimize performance³².

The purpose of this study was to present training data from a descriptive study of six Norwegian runners who have competed or are currently competing at the top European level. The examination process is based on systematic analysis of the athletes' written training diaries for one of the seasons they competed in an international championship. The distribution of training volume (km/week) at different intensities (% of HR_{\max}) was determined according to the intensity zones and duration of training recommended by the Norwegian Olympic Training Centre³³. According to Bompa⁵³ training volume and the distribution of training at prescribed intensity zones differ during the main meso-cycles of a training year.

Methods

Subjects

Six of the best Norwegian long distance runners during the last decade, including three track runners (A, B, C) and three marathon runners (D, E, F) volunteered to take part in the study. They have all participated in international meets and races, and the track runners have competed in finals in international championships. Their personal records in different running events are listed in table 1.

All participants gave their written voluntary consent prior to participating in the study.

Procedures

Each runner was asked to send in his/her training diary for one season in which they had competed in the Olympic Games, World Championships or European Championships. Five of the runners complied with this request, while one track runner sent representative weeks for the preparation period (November - February) and the competition season (May - September). Calculations on the training reported in the diaries was used to estimate; (a) average number of training sessions during the preparation period (November - February), the pre-competition period (March and April) and the competition season (May - September)^{22,34,35}; (b) average training volume (km/week); (c) distribution of training at the prescribed intensities (% of HR_{max}); and (d) number of weekly sprints/strides and strength training workouts.

Intensity zones and training volume

The training registration protocol was based on the distribution of training into specific intensity zones recommended by the Norwegian Olympic Training Centre³³. Table 2 consists of seven standardized intensity zones defined in terms of % of maximum heart rate (% of HR_{max}), blood lactate concentration, racing speed and duration of the training sessions. Training performed in the prescribed intensity zones suggests a degree of specific physiological adaptation, but the boundaries between the zones do not clearly underlie exact physiological parameters.

Frequency of training (units/week) and average duration of training sessions (km/week) were registered and summarized for all six runners (A—F) in the different meso-cycles of the selected macro-cycle (table 3a). The reported training loads (km/week) were also classified according to the prescribed intensity zones (table 3b and 3c) and listed for the preparation period, the pre-competition period and the competition season representing an average of all training done by all six track and marathon runners. In addition, an average training week in the preparation period and in the competition season is presented for all runners (n=6) (tables 4a – f, and 5a – f), respectively.

Instruments

Two of the track runners and one of the marathon runners used heart rate monitors in most of their training. These runners also measured training intensity during interval sessions by sampling lactate using Lactate Pro LT – 1710TM (ArkRay Inc, Koyota, Japan). The other two marathon runners occasionally used heart rate monitors, and their running speed and heart rate were calibrated against lactate measurements at national training camps. Training performed at intensities around 90 % of HR_{max} (85 % of $\dot{V}O_{2max}$) is referred to as the anaerobic threshold intensity. Measurements of Norwegian elite endurance athletes' individual anaerobic threshold show that the HR at vAT is in this area³³. Runners and coaches reported lactate measured at this intensity, using Lactate Pro LT – 1710TM (ArkRay Inc, Koyota, Japan), to be between 3.0 and 4.5 mmol/L. The identification of HR at anaerobic threshold made it possible to quantify the amount of training in this intensity zone (zone 3). The third track runner did not use a heart rate monitor or Lactate Pro LT – 1710TM while training.

Statistical analysis

Data are presented as mean \pm standard deviation. The validity of data is shown through the systematic detailed descriptions, the process of analysis and the results.

Results

Frequency of training

During the preparation period, the athletes reported an average of 13 ± 1 training sessions per week. During the pre-competition period and competition season the average number of training sessions was 12 ± 2 and 12 ± 2 , respectively.

Competitions

The track and marathon runners took part in 11 ± 2 and 8 ± 3 competitions, respectively, during the season.

Training volume

The average kilometer ran per week in different periods of the year for all runners are listed in table 3a. The track runners (B, C) reported an average of 161 ± 11 and 167 ± 3 km/week during the preparation period and the pre-competition period. Runner A reported two training weeks from the preparation period, and one week from the competition season of: 175, 210 and 143 km/week, respectively. In a “typical” week in the competition season, including an important competition, the average running volume for the track runners A, B and C was 148.2 ± 16.1 km.

Average training volume for the marathon runners D, E, F was 186.6 ± 25.7 km/week in the preparation period, and 186.6 ± 18.9 km/week in the pre-competition period. The average documented training volume for the marathon runners in the competition season was 173.3 ± 5.9 km/week.

Intensity distribution

Preparation period

Table 3b shows the average total running distance (km/week), and the average running distance (km/week) in different intensity zones in the preparation period, the pre-competition period and in the competition season for the track runners. Of the track runners' (B and C) weekly running volume (km/week) during the preparation period, 76.4 ± 1.6 % (123 ± 11 km) was continuous running with a heart rate between 65-82 % of HR_{max} (zone 1). The percent of training performed just below the anaerobic threshold with a heart rate between 82 and 87 % of HR_{max} (marathon pace - zone 2), was 12.5 ± 1.3 % (20.1 ± 4.2 km) for the track runners. The training reported in zone 2 consisted of mainly interval sessions, though the training did include some hard continuous runs. The track runners performed from two to four sessions per week in zone 2, with a variation from week to week according to the planned training structure. The percent of running volume in zone 3 (half marathon pace) was 7.1 ± 0.8 % (11.5 ± 5.1 km) for the track runners (87-92 % of HR_{max}). This was mainly long interval training.

During this period, $2.7 \pm 1.5 \%$ (4.4 ± 3.6 km) of the training for the track runners was reported to be training in 3000m – 5000m pace (zone 5). $1.3 \pm 0.2 \%$ (2 ± 1.3 km) of the training volume was reported to be strides or speed training (zone 7).

Table 3c shows the average total running distance (km/week), and the average running distance in different intensity zones, in the preparation period, the pre-competition period and in reported representative weeks in the competition season for the marathon runners. Of the marathon runners' (D, E, F) the weekly training distance (km/week) during the preparation period, $83.6 \pm 4.0 \%$ (156.2 ± 21 km) was continuous running with a heart rate between 65-82% of HR_{max} (zone 1). The percent of training volume performed at marathon pace was $12.7 \pm 3.5 \%$ (23.7 ± 8.2 km), with a heart rate between 82 and 87 % of HR_{max} (zone 2). The athletes performed from two to four sessions per week in zone 2, with a variation from week to week according to the planned training structure. The marathon runners did not report any training at half marathon pace (zone 3). However, during this period, $2.5 \pm 1.2 \%$ (4.7 ± 2.4 km) of the training volume for the marathon runners was training at 10000m pace (zone 4). $1.2 \pm 0.7 \%$ (2 ± 0.9 km) of the training volume was reported to be strides or speed training (zone 7).

Pre-competition period

The intensity distribution in this period was very similar to the distribution in the preparation period, except that the track runners performed $2.9 \pm 0.8 \%$ (4.8 ± 0.9 km) of their training in zone 6 (mainly track running at 1500m pace).

Competition season

During the competition season the track runners (A, B, C) performed $80.8 \pm 2.1 \%$ (119.4 ± 9.8 km) of the training volume in zone 1, $6.9 \pm 1.1\%$ (10.2 ± 4.2 km) in zone 2, and 6.2 ± 2.6 (9.2 ± 5.1 km) in zone 3. Compared with the pre-competition period more training was done in 10000m pace ($0.3 \pm 0.5 \%$ = 0.5 ± 0.9 km) and 3000m-5000m pace ($4.0 \pm 2.0 \%$ = 6.0 ± 2.0 km). This is due to competitions and training at specific 3000m or 5000m pace.

Compared to the preparation and the pre-competition periods, the marathon runners increased the amount of training in zone 2 to and 3. The volume in zone 2 is nearly the same as in the two previous periods, but now $4.1 \pm 2.9 \%$ (7.1 ± 4.8 km) was carried out in zone 3.

Strides and strength training

Strides, often carried out before interval sessions, and occasionally after continuous running sessions, are categorized as zone 7 training. The total amount, intensity and length of strides are not always reported in the diaries, resulting in some uncertainty regarding the amount of training in zone 7. All runners reported some kind of general strength training. This training was not specified in detail in the training diaries, and is not listed in tables 3b and 3c.

Weekly training programs in the preparation period

Table 4a shows track runners A's training week in the preparation period (week 9). The listed training program was performed at 2000-2400m above sea level in Eldoret, Kenya, and the total running volume was 210 km. Runner A performed 12 training sessions during this week of which eight sessions were continuous running in zone 1. The four other sessions were: One session in zone 2 (Wednesday p.m.), one session in zone 3 (7 x 2000m with one minute recovery), one session in zone 4 (14 x 1000m, recovery = 45sec) and one track running session (10 x 200m) where every second 200m was performed in 800m pace (zone 5) and 5000m pace (zone 6) with a recovery period of 2:00 – 2:30min between repetitions and a lactate production just below 10.5 mmol/L.

The training week in the preparation period (week 47) for track runner B was performed at 2100m above sea level in South Africa. The presented program (table 4b) indicates a total running volume of 165.5 km. Runner B performed 12 training sessions during this week of which seven sessions were continuous running in zone 1, two and a half sessions were training in zone 2 (Tuesday a.m., Thursday p.m. and the first five 1000metres of the session on Tuesday p.m.) and one and a half session were carried out in zone 3 (6 x 6min Thursday a.m., and the last seven 1000metres of the session on Tuesday p.m.). One track running session (Saturday p.m.) was carried out at 5000m pace (zone 5).

A representative training week in the preparation period (week 47) for female track runner C at sea level in Oslo is shown in table 4c. The presented program indicates a total running volume of 172 km performed in 11 training sessions of which nine sessions were continuous running in zone 1, one session continuous running including 45 min moderate running in zone 2 and one anaerobic threshold training sessions in zone 3 (8 x 1500m with a recovery of 45sec.)

Table 4d shows a representative training week for male marathon runner D in the preparation period (week 49), 2100m above sea level in Flagstaff, USA. The program indicate a total running volume of 177 km performed in 12 training sessions of which ten sessions were continuous running in zone 1 and two training sessions in zone 2. The training week seems relatively hard and monotonous, but it is worth to notice that one of the continuous running sessions was done with a moderate intensity (Friday p.m.). On Sunday a.m. runner D performed 20 x 1000m in marathon pace with a recovery period of 1min.

In a week (table 4e) in the preparation period (week 4) female marathon runner E performed a total running volume of 232 km in 14 training sessions of which eleven sessions were easy continuous running in zone 1, and three threshold training sessions in zone 2.

Table 4f shows a representative week in the preparation period for female marathon runner F. The training program indicates a total running volume of 170 km performed in 11 training sessions of which nine sessions were continuous running in zone 1 and two sessions close to marathon pace in zone 2 (Tuesday a.m.; 16 x 1000m in a pace of 3:25min/km with a recovery of 30sec., and Saturday a.m.; 4 x 5 km at a pace of 3:20 – 3:40min per km).

Weekly training programs in the competition season

A representative training week in the competition season (week 23) for male track runner A is shown in table 5a. The total running volume was 143 km in 12 training sessions of which eight sessions were continuous running in zone 1, one session in zone 3 (Wednesday p.m.; 6 x 2000m with a pace of 2:53min/km), one session was performed in zone 5 (4x1000m in 5000m pace – average time 2:32min/km) and one track running competition (5000m – 13:09.19) in zone 5. On Sunday p.m. the runner performed an ergometer bike session in simulating high altitude at 3000m.

Table 5b shows a training week in the competition season (week 22) for track runner B. The presented program indicate a total running volume of 131.5 km. Runner B performed 12 training sessions during this week of which nine sessions were continuous running in zone 1, one session in zone 2 (Thursday p.m.) and one anaerobic threshold training sessions in zone 3 (Thursday p.m.) and one competition (zone 5).

In the competition season (week 30 - table 5c) female track runner C ran a total volume of 172 km performed in 12 training sessions of which nine sessions were easy continuous running in zone 1 and two training sessions in zone 2, and a 3000m competition (zone 5) on Friday p.m. (8:41.34).

Table 5d shows a representative training week in the competition season (week 30) for male marathon runner D. The presented program indicates a total running volume of 178 km performed in 13 training sessions of which 11 sessions were continuous running in zone 1, one session in zone 3 (5 x 2000m in half-marathon pace, recovery = 2min) and one session at 5000m and 1500m pace (6 x 800m in 2:11-2:12min (zone 5) + 12 x 300m in 45-49sec (zone 6)).

A training week in the competition season (week 32) for female marathon runner E is illustrated in table 5e. The listed program indicates a total running volume of 165 km performed in 11 training sessions of which nine sessions were easy continuous running in zone 1, one sessions in zone 2 (Friday a.m.; 32 x 1000m in a average pace of 3:25min/km, recovery = 1min) and one session at 10000m pace (zone 4) (25 x 400m, recovery = 30sec).

Table 5f shows a representative training week in the competition season (week 28) for female marathon runner E. The presented program indicates a total running volume of 177.5 km performed in 11 training sessions of which nine sessions were continuous running in zone 1 and two sessions in zone 2 (Tuesday a.m.; 35 km continuous running with a varied speed between 4:00 and 3:20min/km for each 10 km and 5 km, respectively and 20 km continuous running on Thursday p.m.).

Discussion

The training methods used by high level athletes are not well documented in literature. The training process naturally gives smaller adjustments in training response to performance at this level, so for well-trained high level athletes, small improvements in performance parameters are expected compared to the expected training response to performance result for untrained athletes¹¹.

Training volume

The three track and three marathon runners in this study have all represented Norway in international championships, and are considered the most outstanding long distance runners in Norway during the last decade. They ran an average of 13 ± 1 session and a mean volume of 161 ± 11 km/week (track runners) and 186.6 ± 25.7 km/week (marathon runners) in the preparation period. In the pre-competition period they ran a mean volume of 167 ± 3 km/week (track runners) and 187.6 ± 18.9 km/week (marathon runners). In the competition season they ran a mean volume of 148.1 ± 16.1 km/week (track runners) and 173.3 ± 5.9 km/week (marathon runners). According to research literature, success in endurance events is associated with high training volume (km/week) at low intensities (62-82 % of HR_{max}) performed in the preparation period, pre-competition period and competition seasons^{36,37}. $\dot{V}O_{2max}$ is one of the most important determinants of performance in endurance running⁸. Although $\dot{V}O_{2max}$ may be a limiting factor for performance in typical endurance events, running economy and running pace at the anaerobic threshold may also be of great importance for success in long distance running events^{32,38}. The trainability of running economy, however, is uncertain. Some studies have shown that training volume significantly improved running economy^{19,39-41}, while other studies have shown no improvement^{7,42}. From the literature we know that the traditional low intensity training model (62-82 % of HF_{max}) performed with a total running volume of 150-200 km per week can lead to very good results for long distance runners who have progressively increased training loads over many years. This model emerges from observations of outstanding distance runners over the last 5 decades^{13,16,17,43}.

Runner A in this study trained according to a “low volume / high intensity model” until the age of 21 years. He then changed his training model, increased the average training volume from 80 km/week to 160 km/week, including two or three lactate threshold sessions per week. After 14 weeks (January – April) his anaerobic threshold running velocity (vAT) had increased from 16.3 to 19.3 km/hour, with a measured $\dot{V}O_{2max}$ of $86.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. The following season he finished second in the European under-23 Championships in the 5000 m, and his personal record at this distance improved from 14:45 to 13:22.58. When runner C increased her training volume she experienced the same kind of improvement in performance. Runner F, however, experienced improvement in her running performance when she reduced her training volume from an average of 270 km/week in a year to an average of 200 km/week, including more training at specific marathon pace. This finding is in line with Billat et al.⁴⁴,

who reported increased $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ in elite marathon runners as a result of more training at marathon pace.

Training intensity

The question remains: is there an optimal training intensity distribution that should be recommended for long distance runners? The main finding in the present study was that, in the preparation period, 76.4 ± 1.6 % of the track runners' total volume, and 83.6 ± 4.0 % of the marathon runners' total volume (km/week) was performed below marathon pace, while 19.6 ± 1.8 % (track runners) and 12.7 ± 3.5 % (marathon runners) was performed at marathon or half marathon pace (zone 2 or 3) which is training close to (zone 2) and at the anaerobic threshold (zone 3). In the pre-competition period and the track competition season the track runners' also reduced training volume and percentage of total running volume performed in zone 2 and 3. This was due to increased training at specific race pace (zones 4 and 5).

The marathon runners carried out the same volume of training at marathon pace (zone 2) in the period leading up to the international championship as in the previous periods, the training at half marathon pace, however, increased from 0 % in preparation- and pre-competition period, to 4.1 ± 1.9 % (7.1 ± 4.8 km) in the competition season..

The high volume of interval training close to anaerobic threshold (zone 2 and 3) might have resulted in favourable improvements in aerobic capacity parameters like vAT , $\dot{V}O_{2\text{max}}$ and running economy. The advantage of anaerobic threshold training is that one can perform a relatively high running volume in each workout. This may lead to increased oxygen transportation capacity and improved running economy. Researchers and expert coaches of top international athletes underline the importance of training near the anaerobic threshold in developing running economy, which is needed to perform at a high level in long distance running³⁸. According to Svedenhag and Sjödin⁴⁵, increased vAT may correspond to changes in running economy and $\dot{V}O_{2\text{max}}$.

Helgerud et al.¹⁹ claim that training at high intensity (90-95 % of HR_{max}) results in faster and more effective improvements in aerobic capacity than low intensity training. However, symptoms of overtraining were found among distance runners who performed three high intensity interval sessions per week over a 4-week span⁴⁶. Other studies have found similar metabolic adaptations in untrained persons, when intensive interval training was compared with traditional endurance training^{47,48}.

It is important to take into consideration that the track runners ran 31.6 ± 5.1 km/week just below and at threshold pace (close to 90 % of HR_{max} = zone 2 and 3) in the preparation period. The female runner ran at $3:25 \pm 0:10$ min/km pace and the male runners at $3:00 \pm 0:10$ min/km pace. When doing steady continuous running, the female and male runners ran at paces of 4:00 – 4:20min/km and 3:50 – 4:00min/km, respectively. This means that the runners in this study, when running 120 to 170 km/week with a heart rate between 65-85 % of HR_{max} , ran much faster per kilometre than did the so called “well-trained athletes”, when running 4 x 4min close to $\dot{V}O_{2max}$ ¹⁹.

Periodization of training

Preparation period

The training data from the present study show that approximately 80 % of the total amount of aerobic endurance training in the preparation period was performed below marathon pace and 20 % at intensities near and above the anaerobic threshold (zone 2 and 3). This tendency has also been found in other training studies^{15,22,26,49,50}.

The presented training weeks in the preparation periods (tables 4a, b, d) of the male track runners A and B and marathon runner D indicate the necessity of performing 7-9 continuous running sessions in zone 1 with a total running volume of 165.5-210 km per week, and two to three sessions in zone 2 or 3 combined with one session in 5000m or 3000m pace (zone 5) to be successful on an international level. The presented running volume and training intensity distribution is in line with newer studies which show that many of the most successful long distance runners and international marathon runners do workloads of 170-250 km per week during their preparation meso-cycles. Studies conducted with well-trained long distance runners also indicate a stronger correlation between performance and high training volume at lower intensity (< 60-75 % of $\dot{V}O_{2max}$), than lower training volume at moderate and high intensities^{12,28,29}. With reference to the presented training programs it is important to underline that male track runner A practised high altitude training regularly in the preparation meso-cycles of the training year. It is impressive to register that he performed 28 km of running in zone 2 in one single session at high-altitude (table 4a). Studies have shown that training just below and at vAT (80-87 % of $\dot{V}O_{2max}$ / 82-92 % of HR_{max}) is the most likely to develop aerobic capacity and specific endurance for long distance runners. The documentation of high-altitude training research also shows that training at 2000m above sea-level might give many positive effects on the development of $\dot{V}O_{2max}$ and performance in endurance events⁵¹.

The presented training week for track runner B seems relatively hard and it worth to notice that the interval track session on Saturday p.m.; 15 x 400m with a recovery period of 1min (average times 67.9 sec), was performed with a lactate production between 9.7-10.7 mmol/L (zone 5). With reference to the presented training program runner B also practised high altitude training regularly in the preparation meso-cycles of the training year.

The reported training of female track runner C shows that her running performances was developed on a very solid base of continuous running on low (zone 1) and moderate intensity (zone 1-2) in the preparation meso-cycle of the training year. A representative training program in the preparation period (table 4c) consisted of 9 relatively hard and monotonous continuous running sessions in zone 1, one continuous session in zone 2 and one interval session in zone 3, with a total volume of 172 km per week. Three of the presented continuous running sessions were performed with a moderate intensity of 4:00min/km (zone 1). The distribution of the running volume and training intensity in the preparation period is in line with the research literature and the documented practice of earlier female world class runner Ingrid Kristiansen³⁶.

With reference to the presented training program of female marathon runner E and F it is important to state that their running performances also were developed on a very strong base of continuous running on low (zone 1) and moderate intensity (zone 1-2) throughout the preparation period of the training year. The training week for the female marathon runners consisted of 12 relatively hard and monotonous continuous running sessions in zone 1 and zone 2 with a total volume of 180-230 km per week. The female marathon runners did one to two weekly sessions at marathon pace with a total running volume up to 20 km in one single session (zone 2). The described training structure of the female marathon runners is in line with a consensus in the research literature and the practice of international marathon runners of today¹³.

Competition period

Due to competitions and training at specific race pace, more high intensity training is performed in the competition seasons. A normal distribution reported by the athletes could for instance be two sessions at race pace and two sessions in zone 2, or one session at race pace and two sessions in zone 3.

Table 5a shows athlete A's workout sessions during a week in the track competition season. The week includes two sessions in zone 2 (Wednesday p.m., and a bike session on Sunday). One session (Monday p.m.) was carried out at 1500m and 3000m race pace. This session is listed as follows: 4 km (4 x 1000m at 3000m pace - average time 2:32min/km) in zone 5, and 1.5 km (5 x 300m at 1500m pace) in zone 6. The 5000m competition Friday p.m. is listed in zone 5.

For runner A the competition week seems quite well structured. The total running was 143 km and it is worth to notice the training intensity of the specific session preparing for top-performance in the 5000m which was performed three days before the competition (Bislett Games). It is recommended that the last intensive training session should be performed four days before an important competition in aerobic endurance events⁵². From practical experience, however, we know that the periodization of training in the micro-cycle may vary for each individual runner. Runner A has obviously discovered that a hard training session three days before a competition optimized his performance potential. With reference to the presented training program it is also important to underline that runner A practised an ergometer simulation session at high altitude on Sunday p.m. which he did regularly on different occasions.

The presented training in a competition week for track runner B (table 5b) seems relatively easy. It consisted of one session in zone 3 (Tuesday p.m.; 12 x 1000m, 2:56 – 3:05min/km, Lactate 2.9- 4.0 mmol/L) and one session in zone 2 (Thursday p.m.; 3 x 6min, Lactate 2.7 mmol/L) four and two days, respectively, before the 3000m steeplechase competition on Saturday p.m. (8:24.80) The periodization structure in his competition week is in line with the research literature and practice of top international track runners⁵³.

The competition training week for female runner C is quite well balanced (table 5c). It is worth to notice that two of her continuous running sessions (Monday p.m., 50min and Tuesday p.m., 30min) were performed with a moderate intensity of 3:30min/km (zone 2) three and four days before the competition, respectively. With reference to the presented training program it is important to underline that runner C mainly used continuous running on low (zone 1) and moderate intensity (zone 2) on all running sessions in her competition training week. On Tuesday p.m. she ran six additional 200m`s at a pace of 30-32sec and on Wednesday and Thursday p.m. she did 6 x 100m strides in spike shoes. She did not run any session in specific race pace before the competition on Friday p.m. Her training structure in

the competition week seems a little different from the other track runners. However, the strategy might be an attempt to gain an optimal compensation (surplus of energy) to perform on a high level in the 3000m race which was run in 8:41.34. In the periodization research literature high intensity training sessions are suggested to be performed seven and four days ahead of an important competition to optimize the athletes' potential performance^{36,53}.

The running capacity of runner D was also developed on a regime of continuous running on low (zone 1) and moderate intensity (zone 1-2) combined with an intensive interval session once a week (zone 5 and 6). In the presented competition season week (table 5d) male marathon runner D did one session in zone 3 (Thursday p.m. – 5 x 2000m in half-marathon pace, recovery = 2min) and one session in 5000m pace (zone 5). The training week seems relatively easy and it is worth to notice the detailed structure of the mentioned track interval session run in 5000m pace (zone 5) on Tuesday p.m. (6 x 800m in 2:11-2:12min + 12 x 300m in 45-49sec) (zone 6).

Table 5e exemplifies a week leading up to an international marathon championship for athlete E. The athlete ran 25 x 400m at half marathon pace on Tuesday p.m. (zone 3), and 32 x 1000m at marathon pace on Friday a.m. (zone 2). An analyses of the presented training program of female marathon runner E shows that the competition running week was performed with a dominance of continuous running on low and moderate intensity in zone 1 and two interval sessions in zone 2 and 3. All her continuous running sessions were performed with an intensity of 4:20 – 4:30 per km.

The training week seems relatively hard and one should notice the extremely strenuous interval training session performed in marathon pace (zone 2) on Friday a.m. (32 x 1000m in a pace of 3:25 per 1000m, recovery = 1min). This session was meant to be a specific preparation (super compensation) for the forthcoming marathon race.

With reference to the presented training program of female runner F (table 5f) it is important to underline that the running competition week was performed with a solid foundation of continuous running on low (zone 1) and moderate intensity (zone 1-2). The competition training week seems relatively hard and monotonous, and it is worth to notice that the continuous running sessions on Thursday a.m. was run with a moderate intensity of 3:40min per km (zone 2). The session which was run on Tuesday a.m. consisted of; 35 km continuous running with a varied speed between 4:00 (zone 1) and 3:20min/km (zone 3) for each 10 km

and 5 km, respectively. The total running volume in the competition week was 177.5 km. This periodization structure is quite typical for marathon runners at an international level^{11-17,32}. It is important to point out that in the competition season weekly training programs differ more between runners and from week to week, than in the preparation period. For each individual runner the weekly training program differs according to races, racing distance and importance of the race.

Conclusion

Newer studies on moderately- and well-trained endurance athletes have demonstrated increased $\dot{V}O_{2max}$ when high-intensity interval training (90-100 % of HR_{max}) replaced training performed at low and moderate intensities^{18,19,44,53,54}. Many coaches and athletes in different endurance disciplines have recently incorporated this training strategy into their practical training workouts in order to optimize performance.

The main finding in this study, however, was that a relatively high training volume at low intensity (62-82 % of HR_{max}) combined with training just below and at the anaerobic threshold (82-92 % of HR_{max}) was beneficial for the development of running performance in six Norwegian male and female track and marathon runners competing at top European level. There is a consensus among Norwegian national coaches and endurance athletes that a high weekly training volume based on continuous running combined with two, three or four workouts just below and at anaerobic threshold pace in the preparation period, and stronger emphasis on training workouts at actual race pace in the competition seasons, is a factor for success. This is in line with the conclusions in a review article by Midgley et al.

Future research should compare the performance effects of different training intensity distributions (below, at, and above the anaerobic threshold) for longer periods. Increased knowledge of the significance of training volume and intensity distribution from a longitudinal perspective would help coaches and scientists to design training programs that improve aerobic and anaerobic capacity in elite long distance runners.

Table 1: The best results at different distances for the runners in the study

	3000m	3000m Steeple-chase	5000m	10000m	Half-Marathon	Marathon
A: Male	7:40.60		13:06.39			
B: Male	7:57.60	8:16.75	13:54.51			
C: Female	8:40.22		14:48.53	30:32.36		
D: Male			14:02.70	28:38.89	1:03:22	2:14:00
E: Female			15:46.02	32:28.16	1:09:28	2:27:06
F: Female	8:58.75		16:00.51	32:31.45	1:10:19	2:29:12

Table 2: Standardized intensity zones (HR as % of HR_{max}), running pace and type of training, blood lactate concentration, and physiological adaptation in the prescribed intensity zones.

Zone	Running pace/Type of training	Lactate (mmol/L) LT-1710	HR as % of HR _{max}	Physiological adaptation
1	Easy and moderate running pace	0.7-2.0	62-82 %	Running economy
2	Marathon pace (mainly relative hard continuous running or intervals from 5000m to 2000m)	2.0-3.0	82-87 %	Anaerobic threshold pace
3	Half marathon pace (hard continuous training and longer intervals from 1000m - 3000m)	3.0-4.5	87-92 %	Anaerobic threshold pace
4	10000m pace (mainly intervals from 1000m-2000m)	4.5-7.0	92-95 %	$\dot{V}O_{2max}$ / aerobic capacity
5	5000m -3000 pace (mainly intervals from 400m to 1000m in 5000m pace and from 600m to 400m in 3000m pace)	7.0-11.0	95-100 %	$\dot{V}O_{2max}$: aerobic/ anaerobic mix zone
6	1500m-800m pace (mainly distances from 200m to 400m)	>11	100 %	Anaerobic capacity
7	Sprint / strides			Speed

Table 3a: Average running volume (km/week) in the different meso-cycles of the year for runner B, C, D, E and F. The listed kilometer for runner A* is an average of two reported training weeks in the preparation period, and one week in the competition season

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Preparation period	192.5*	150	172	154	216.8	189
Pre-competition period		131.8	173	149	197.2	177.5
Competition season	143*	120	160	148.3	181.3	148

Table 3b: Average total running distance (km/week), and average running distance in different intensity zones (km/week), in the preparation period, the pre-competition period and in reported representative weeks in the competition season for the track runners

	<i>Preparation period</i> (November-February) <i>n=2</i>	<i>Pre-competition period</i> (March and April) <i>n = 2</i>	<i>Competition season</i> (May-August) <i>n = 3</i>
Total km /week	161 ± 11.0 km	167 ± 3.0 km	148.2 ± 16.1 km
Zone 1: Easy and moderate continuous running	123 ± 11.0 km (76.4 ± 1.6 %)	131,9 ± 5.7 km (79 ± 2.0 %)	119.4 ± 9.8 km (80.8 ± 2.1 %)
Zone 2: Marathon pace	20.1 ± 4.2 km (12.5 ± 1.3 %)	11 ± 3.2 km (6.5 ± 1.4 %)	10.2 ± 4.2 km (6.9 ± 1.1 %)
Zone 3: Half marathon pace	11.5 ± 5.1 km (7.1 ± 0.8 %)	13.3 ± 3.3 km (8.0 ± 0.6 %)	9.2 ± 5.1 km (6.2 ± 2.6 %)
Zone 4: 10000m pace			0,5 ± 0.9 (0.3 ± 0.5 %)
Zone 5: 3000m-5000m pace	4.4 ± 3.6 km (2.7 ± 1.5 %)	2.8 ± 2.8 km (1.7 ± 1.7 %)	6.0 ± 2.0 km (4.0 ± 2.0 %)
Zone 6: 800m -1500m pace		4.8 ± 0.9 km (2.9 ± 0.8 %)	0.9 ± 0.6 km (0.9 ± 0.7 %)
Zone 7: Sprint / strides	2 ± 1.3 km (1.3 ± 0.2 %)	3.2 ± 0.9 km (1.8 ± 0.2 %)	2.0 ± 0,0 km (1.3 ± 0.1 %)

Table 3c: Average total running distance (km/week), and average running distance in different intensity zones (km/week), in the preparation period, the pre-competition period and in reported representative weeks in the competition season for the marathon runners

	<i>Preparation period</i>	<i>Pre-competition period</i>	<i>Competition season</i>
	<i>(November-February)</i>	<i>(March and April)</i>	<i>(May-August)</i>
Total km/week	186.6 ± 25.7 km	187.6 ± 18.9 km	173.3 ± 5.9 km
Zone 1: Easy and moderate continuous running	156.2 ± 21.0km (83.6 ± 4.0 %)	158.2 ± 9.2 km (84.7 ± 4.2 %)	138.4 ± 15.2 km (79.9 ± 6.5 %)
Zone 2: Marathon pace	23.7 ± 8.2 km (12.7 ± 3.5 %)	22.2 ± 8.8 km (11.5 ± 3.6 %)	22.6 ± 12.0 km (13.1 ± 5.6 %)
Zone 3: Half marathon pace			7.1 ± 4.8 km (4.1 ± 1.9 %)
Zone 4: 10000m pace	4.7 ± 2.4 km (2.5 ± 1.2 %)	4.4 ± 2.5 km (2.3 ± 1.3 %)	
Zone 5: 3000m-5000m pace			1.6 ± 2.6 km (1.0 ± 1.3 %)
Zone 6: 800m-1500m pace		0.5 ± 0.2 km (0.3 ± 0.3 %)	1.3 ± 1.8 km (0.7 ± 1.0%)
Zone 7: sprint / strides	2 ± 0.9km (1.2 ± 0.7 %)	2.3 ± 0.5 km (1.2 ± 0.3 %)	2.3 ± 5.0 km (1.3 ± 0.3 %)

Table 4a: A training week in the preparation period for runner A (Eldoret, Kenya 2000 - 2400m above sea level)

Week 9	a.m.	p.m.
Monday	11km continuous running	14x1000m La: 5-7mmol/L Pace: 2:50-2:55, recovery 1 min
Tuesday	17km continuous running	12km continuous running
Wednesday	10km continuous running + 5x100m jumping (sprunglauf) 6x100 elastic leg jumps	11000m+8000m+ 4500m +3000m+1500m (recovery 2-1 min). La: 2-3 mmol/L (zone 2)
Thursday	16km continuous running	14km continuous running
Friday		7x2000m threshold pace, recovery 1 min
Saturday	20x60m sprint (the last 10 with 2.5kg weight loaded hanging behind) + 6x100 elastic leg jumps	10x200m, track running. Every second in 800m- and 5000m pace. Average: 26.0sec and 32.5sec. Recovery 2:00-2:30 min. Lactate< 10,5mmol/L
Sunday		20km continuous running
12sessions = 210 km		

Table 4b: A training week in the preparation period for runner B (South Africa, 2100m above sea level)

Week 47	a.m.	p.m.
Monday	13km (60min) continuous running	10km (45min) continuous running
Tuesday	Warm up 10 min. +7,5km continuous threshold running. La< 3.0 mmol/L (3:24 - 3:27min/ km) + 15 min jog	Warm up 15min +12x1000m p=1 min (average: 3:13min) La: 2.7-3.6 mmol/L + 15min jog
Wednesday	62min = 13km	45min = 10km
Thursday	Warm up 15 min + 6x6min (3:17-3:25min/km), recovery 1 min. La: 2.9-3.6 mmol/L + 15min jog	Warm up 10 min +7.5km continuous threshold running (3:24min/km) La: 1.9mmol/L + 10 min jog
Friday	21.5km continuous running (1:37)	
Saturday	Warm up 10 min +7,5km continuous threshold running (3:20min/ km) La: 4.2 mmol/L + 10 min	Warm up 13 min + 15x400m (1800m above sea level): average time 67.9 sec., La: 9.7 – 10.7 mmol/L, recovery =1min + 15min jog
Sunday	22km continuous running (1:40)	
12 sessions = 165.5 km		

Table 4c: A training week in the preparation period for runner C (Oslo, sea level)

Week 47	a.m.	p.m.
Monday	11,5km continuous running (46min = 4min/km)	Warm up 4 km + strides + 8x1500m, (recovery =45sec jog) + jog 4 km
Tuesday	16km continuous running (70min)	
Wednesday	11,5km continuous running (46min)	19km continuous running (80min) 4:12min/ km
Thursday	17,5km continuous running (included 45min moderate/ hard= 3:40-3:30min/km) (67min)	
Friday	11,5km continuous running (46min)	15km continuous running (64min)
Saturday	11km continuous running (44min)	14km continuous running (60min)
Sunday	28km continuous running (120 min)	

11 sessions = 172 km.

Table 4d: A training week in the preparation period for runner D (Flagstaff, U.S.A., 2100m above sea level)

Week 49	a.m.	p.m.
Monday	8km continuous running + 6x100m strides	13.5km continuous running + general strength training
Tuesday	9.5km continuous running	14km continuous running
Wednesday	9.5km continuous running	17n km min continuous running including 5,4,3,2,1 min marathon pace with 1 min jog recovery.
Thursday	7.5km continuous running	20km continuous running + general strength training
Friday	9km continuous running + drills	12km moderate + 6 x100m sprint
Saturday	25km easy continuous running	
Sunday	Warm up 3.5 km + 20x1000m (marathon pace) (zone 2), recovery = 1 min + 3.5km jog	
12 sessions = 177 km		

Table 4e: A training week in the preparation period for runner E (Norway, sea level)

Week 4	a.m.	p.m.
Monday	40.5km continuous running (4:30min/km)	11km continuous running (50 min) + strides
Tuesday	11.5km (52min) continuous running	22 km continuous running + strides
Wednesday	13.5km continuous running (59min) + strides	4.5 km warm up+ strides + 4 x 15min (3:30min/km) + 5.5 km jog
Thursday	14km continuous running (4:30-4:20min/km)	56min continuous running + 4 x 100m
Friday	14km continuous running + 3 x100m	21min warm up+4x100m strides +short intervals: 40 x 1min (recovery =30sec)+20min jog
Saturday	27km continuous running (4:30min/km)	50min + 4 x 100m
Sunday	14kmcontinuous running + 4 x100m strides	Warm up 4km + 4 x100m strides + 8 x 5min l (3:25min/km, recovery=1min)+ 4 km jog

14 sessions = 232 km.

Table 4f: A training week in the preparation period for runner F (Norway, sea level)

Week 7	a.m.	p.m.
Monday	13km continuous running (65min)	16km continuous running (70 min)
Tuesday	7km continuous running (4:16 per km)+16x1000m (3:25), recovery = 30sec + 5km continuous running	19km continuous running (90min)
Wednesday	16km continuous running	14km easy continuous running (70min)
Thursday	15km continuous running (4:00min/km)	26km continuous running (120min)
Friday	15km continuous running (65min)	13km continuous running (60min)
Saturday	Warm up: 3.5km + 20km progressive treadmill running: 5km(3:40min/km) + 5km (3:25min/km)+5 km (3:40min/km) +5km (3:20min/km) + 3.5km jog	
Sunday	13 km continuous running	

13 sessions = 271 km

Table 5a: A representative training week in the competition season for runner A

Week 23	a.m.	p.m.
Monday	7km continuous running	4x1000m. Times: 2:32.2-2:32.4-2:32.2-2:32.1 (recovery = 3min) + 5x300m Times: 42-43sek (recovery = 1min) + 3x3 deep, fast knee bend 40 kg, 1 x 3 horizontal jumps (light weights) + 10 km jog
Tuesday	13km continuous running + 5x100 jumps (legs)	.
Wednesday	8km continuous running	Warm up 15 min + 6x2000m (La: 2.5-3.0 mmol/L) 2:53 per km (recovery = 1min) + jog 10-15 min
Thursday	10km continuous running	17km continuous running
Friday	3km continuous running	5000m, Bislett Games 13:09.19 (2:37-2:38-2:41-2:44-2:28)
Saturday	13km continuous running + massage	
Sunday	10km continuous running	Ergometer bike: 35 min moderate frequency (3000m; stimulated altitude) La: 2.5-3.0mmol/L.
Total: 143 km		

Table 5b: A representative training week in the competition season for runner B

Week 22	a.m.	p.m.
Monday	14,5km continuous running (64min)	10km continuous running (41min)
Tuesday	10km continuous running (44min)	Warm up 15 min +12x1000m, recovery = 1min (2:56 -3:05/km). La: 2.9-4.0 mmol/L (zone 4)+ jog 15 min
Wednesday	14,5km continuous running (61min)	
Thursday	10km continuous running (44min)	Warm up 15 min + strides + 3 x 6min threshold running, recovery = 1min. La: 2.7 mmol/L (zone 3)+ 15 min jog
Friday	6km continuous running (32min)	Travel to Belgia
Saturday	5km easy jog	Neerpelt, competition: 3000msteeplechase: 8:24.80. (Warm up 10min jog + 5min threshold pace + strides. After the race: 20min jog).
Sunday	11km continuous running (50 min)	10km continuous running (43 min)

12 sessions = 131.5 km

Table 5c: A representative training week in the competition season for runner C

Week 30	a.m.	p.m.
Monday	11km continuous running	Warm up 2,5km + 50min moderate running (3:30min/km) + 5x100m strides in spike shoes
Tuesday	11km continuous running	Warm up 3km + 30min moderate running (3:30min/km) + 6x200m on track (32-30sec)
Wednesday	10km continuous running	10km continuous running + 6x100m strides in spike shoes
Thursday	7km continuous running	8km continuous running + 6x100m strides in spike shoes
Friday	5km continuous running + strides	Bislett Games 3000m 8.41.34
Saturday	8km continuous running (very easy)	20km continuous running continuous running
Sunday	14km continuous running	15km continuous running continuous running + 6x100m strides
14 sessions = 167 km		

Table 5 d: A representative training week in the competition season for runner D (Norway, 1850m above sea level)

Week 30	a.m.	p.m.
Monday	9km continuous running	15,5km continuous running
Tuesday	9km continuous running	Warm up 15 min +2x3x800m (2.11-2.12) recovery = 200m jog, 2 min between sets. + 8x300m (49-47sec) + 5x300m (47-45sek) (recovery = 1min) + 15 min jog
Wednesday	10km continuous running	15.5km continuous running (4:00-3:50min/km)
Thursday	28km continuous running(150min)	
Friday	10km continuous running	14km continuous running + 6 x 100mstides
Saturday	10km continuous running	5x2000m, recovery = 2min
Sunday	15km continuous running (4:00min/km)	8,5km continuous running (3:50min/km)

13 sessions= 178km.

Table 5e: A representative training week in the competition season for runner E

Week32	a.m.	p.m.
Monday	10km continuous running (4:20min/km)	15km continuous running (4:20min/km)
Tuesday	10km continuous running (4:20min/km)	Warm up 15min + short intervals: 25x400m, recovery = 30sec + jog 15min
Wednesday	20km continuous running (4:20min/km)	
Thursday	10km continuous running (4:15min/km)	20km continuous running (4:20-4:25min/km)
Friday	Warm up 15 min+ 32 x1000m (average 3:25min, recovery=1min) + jog 15 min	
Saturday	10km continuous running (4:30min/km)	
Sunday	10km continuous running (4:20min/km)	15km (4:20min/km)

11 sessions = 165 km

Table 5f: A representative training week in the competition season for runner F

Week 28	a.m.	p.m.
Monday	14km continuous running (60 min)	14km continuous running (60min)
Tuesday	35km continuous running, varying speed: 10km (4:00min/km)+ 5km (3:45min/km)+ 10km (3:30min/km) + 2km (4:00min/km)+ 3km (3:20min/km) + 5km(4:00min/km)	
Wednesday	10km continuous running (45 min)	9km continuous running (40 min)
Thursday	14km continuous running (60 min)	20km continuous running (3:40 min/km)
Friday	14km continuous running (60 min)	14.5km continuous running (62 min)
Saturday	24km (including 20km progressive running) (total =97 min)	
Sunday	9km continuous running	
11 sessions= 177.5 km		

References:

1. Billat, V.L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., Koralsztein, J.P., Physical and Training Characteristics of Top-Class Marathon Runners, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2001, 33(12), 2089-2097.
2. Conley, D., L., Kranenbuhl, G.S., Running Economy and Distance Running Performance of Highly Trained Athletes, Medicine & Science in Sports & Exercise, 12, 357-360.
3. Jones, A.M., The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon, International Journal of Sports Science & Coaching, 2006, 1(2), 101-116.
4. Tanaka, K., Matsuura, Y., Marathon Performance, Anaerobic Threshold, and Onset of Blood Lactate Accumulation, Journal of Applied Physiology, 1984, 57, 640-643.
5. Maffulli, N., Capasso, G., Lancia, A., Anaerobic Threshold and Performance in Middle and Long Distance Running, The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 1991, 31(3), 332-338.
6. Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J.S., Wilmore, J.H., Gagnon, J., et al., Familial Aggregation of VO₂max Response to Exercise Training: Results from the HERITAGE Family Study, Journal of Applied Physiology, 1999, 87(3), 1003-1008.
7. Larsen, H.B., Nolan, T., Borch, C., Sondergaard, H., Training Response of Adolescent Kenyan Town and Village Boys to Endurance Running, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2005, 15(1), 48-57.
8. Brandon, L.J., Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance, Sports Medicine, 1995, 19(4), 268-277.
9. Grant, G., No Short-Cuts to the Top, Athletics Weekly, Descartes Publishing Ltd., 2009, 26-.
10. Seiler, K.S., Kjerland, G.Ø., Quantifying Training Intensity Distribution in Elite Endurance Athletes: is There Evidence for an Optimal Distribution? Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2006, 16(1), 49-56.
11. Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Jones, A.M., Training to Enhance the Physiological Determinants of Long-Distance Running Performance, Sports Medicine, 2007, 37(10), 857-880.
12. Billat, V., L'apport de la science dans l'entraînement sportif: l'exemple de la course de fond. / The Contribution Made by Science to Sports Training: the Example of Long and Middle Distance Running, Revue des Sciences & Techniques des Activités Physiques & Sportives, 2001, 22(54), 23-43.
13. Ferreira, R.L., Rolim, R., The Evolution of Marathon Training: A Comparative Analysis of Elite Runners' Training Programmes, New Studies in Athletics, 2006, 21(1), 29-37, 108-111.

14. Karp, J.R., How They Train, Running Times, 2007, (351), 32-3.
15. Seiler, S., Tønnessen, E., Intervals, Thresholds and Long Slow Distance: The Role of Intensity and Duration in Endurance Training, Sportscience, 2009, 24(5), 1340-1345.
16. Karikosk, O., Training Volume in Distance Running. Modern Athlete and Coach, 1984, 22(2), 18-20.
17. Tjelta, L.I., Enoksen, E., Training Volume and Intensity, in: Bangsbo, J., Larsen, H.B., eds, Running & Science - in an Interdisciplinary Perspective, Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard, 2001, 149-177.
18. Laursen, P.B., Jenkins, D.G., The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training: Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes, Sports Medicine, 2002, 32(1), 53-73.
19. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., et al., Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO₂max More Than Moderate Training, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2007, 39(4), 665-671.
20. Iaia, F.M., Rampinini, E., Bangsbo, J., High-Intensity Training in Football, International Journal of Sports Physiology & Performance, 2009, 4(3), 291-306.
21. Evertsen F., Medbø J.I., Jebens E., Gjovaag T.F., Effect of Training on the Activity of Five Muscle Enzymes Studied on Elite Cross-Country Skiers, Acta Physiologica Scandinavica, 1999;167(3):247-57.
22. Tjelta, L.I., Enoksen, E., Training Characteristics of Male Junior Cross Country and Track Runners on European Top Level, International Journal of Sports Science & Coaching, 2010, 5(2), 193-203.
23. Gaskill, S.E., Serfass, R.C., Bacharach, D.W., Kelly, J.M., Responses to Training in Cross-Country Skiers, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1999, 31(8), 1211-1217.
24. Saltin, B., Kim, C.K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J., Rolf, C.J., Morphology, Enzyme Activities and Buffer Capacity in Leg Muscles of Kenyan and Scandinavian Runners, Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 1995, 5(4), 222-230.
25. Billat, V., Lepretre, P.M., Heugas, A.M., Laurence. M,H., Salim, D., Koralsztein, J.P., Training and Bioenergetic Characteristics in Elite Male and Female Kenyan Runners. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2003, 35(2), 297-304.
26. Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Rutt, R., et al., Percentages of Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve and VO₂max for Determining Endurance Training Intensity in Male Runners, International Journal of Sports Medicine, 1990, 11(3), 218-222.
27. Carter, H., Jones, A.M., Doust, J.H., Effect of 6 Weeks of Endurance Training on the Lactate Minimum Speed, Journal of Sports Sciences, 1999, 17(12), 957-967.

28. Esteve-Lanao, J., San Juan, A.F., Earnest, C.P., Foster, C., Lucia, A., How Do Endurance Runners Actually Train? Relationship with Competition Performance, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2005, 37(3), 496-504.
29. Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., Lucia, A., Impact of Training Intensity Distribution on Performance in Endurance Athletes, Journal of Strength & Conditioning Research, 2007, 21(3), 943-949.
30. Berg, K., Endurance Training and Performance in Runners. Sports Medicine, 2003, 33(1), 59-73.
31. Laursen, P.B., Jenkins, D.G., The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training - Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes, Sports Medicine, 2002, 32(1), 53-73.
32. Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Wilkinson, M., Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners?: Empirical Research Findings, Current Opinions, Physiological Rationale and Practical Recommendations, Sports Medicine, 2006, 36(2), 117-132.
33. Frøyd, C., Madsen, Ø., Sæterdal, R., Tønnessen, E., Wisnes, A., Utholdenhet - Trening som Gir Resultater, Akilles, 2005.
34. Gaskill, S.E., Fitness Cross-Country Skiing, Champaign, Illinois, 1998.
35. Noakes, T., Physiological Capacity of the Elite Runner, in: Bangsbo, J., Larsen, H.B., eds, Running & Science - in an Interdisciplinary Perspective, Institute of Exercise and Sports Sciences, University of Copenhagen, Munksgaard, 2001, 19-47.
36. Tønnessen, E., Hvorfor Ble de Beste Best? En Casestudie av Kvinnelig Verdensenerer i Orientering, Langrenn og Langdistanseløp, PhD Theses, Oslo, Norges idrettshøgskole, 2009.
37. Kaggstad, J., So Trainiert Ingrid Kristiansen 1986. Leichtatletik. 1987, 38, 831-834.
38. Foster, C., Lucia, A., Running Economy - The Forgotten Factor in Elite Performance, Sports Medicine, 2007, 37(4-5), 316-319.
39. Sjödín, B., Jacobs, I., Svedenhag, J., Changes in Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) and Muscle Enzymes after Training at OBLA, European Journal of Applied Physiology, 1982, 49(1), 45-57.
40. Svedenhag, J., Sjödín, B., Physiological Characteristics of Elite Male Runners in and Off-Season, Canadian Journal of Applied Sport Sciences, 1985, 10(3), 127-133.
41. Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S., Pedersen, P.K., Improved Running Economy following Intensified Training Correlates with Reduced Ventilatory Demands, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1998, 30(8), 1250-1256.

42. Lake, M.J., Cavanagh, P.R., Six Weeks of Training Does not Change Running Mechanics or Improve Running Economy, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1996, 28(7), 860-869.
43. Noakes, T., Lore of Running, 4th edn., Human Kinetics, Champaign, Illinois, 2003 .
44. Billat, V., Demarle, A., Paiva, M., Koralsztein, J.P., Effect of Training on the Physiological Factors of Performance in Elite Marathon Runners (Males and Females), International Journal of Sports Medicine, 2002, 23(5), 336-341.
45. Svedenhag, J., Sjödín, B., Body-Mass-Modified Running Economy and Step Length in Elite Male Middle- and Long-Distance Runners, International Journal of Sports Medicine, 1994, 15(6), 305-310.
46. Billat, V.L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., Koralsztein, J.P., Interval Training at VO₂max: Effects on Aerobic Performance and Overtraining Markers, Medicine & Science in Sports & Exercise, 1999, 31(1), 156-63.
47. Burgomaster, K.A., Howart, K.R., Stuart, M.P., Rakobowchuk, M., MacDonald, J.M., McGee, S.L., et al., Similar Metabolic Adaptations during Exercise after Low Volume Sprint Interval and Traditional Endurance Training in Humans, The Journal of Physiology, 2008, 1, 151-160.
48. Berger, N.J., Williams, A.G., Jones, A.M., Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake On-Kinetics, Medicine & Science in Sports Exercise, 2006, 38(3), 504-512.
49. Simoes, H.G., Denadai, B.S., Baldissera, V., Campbell, C.S.G., Hill, D.W., Relationships and Significance of Lactate Minimum, Critical Velocity, Heart Rate Deflection and 3000 m Track-Tests for Running, Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 2005, 45(4), 441-451.
50. Keith, S.P., Jacobs, I., McLellan, T.M., Adaptations to Training at the Individual Anaerobic Threshold, European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1992, 65(4), 316-323.
51. Bonetti, D.L., Hopkins, W.G., Sea-Level Exercise Performance following Adaptation to Hypoxia: a Meta-Analysis, Sports Medicine, 2009, 39(2), 107-127.
52. Bompa, T.O., Periodization: Theory and Methodology of Training, 4th edn., Human Kinetics, 1999.
53. Laffite, L.P., Mille-Hamard, L., Koralsztein, J.P., Billat, V.L., The Effects of Interval Training on Oxygen Pulse and Performance in Supra-Threshold Runs, Archives of Physiology & Biochemistry, 2003, 111(3), 202-210.
54. Smith, T.P., Coombes, J.S., Geraghty, D.P., Optimising High-Intensity Treadmill Training Using the Running Speed at Maximal O₂ Uptake and the Time for Which this Can be Maintained, European Journal of Applied Physiology, 2003, 89(3/4), 337-43.

Artikkel III

Ikke tilgjengelig i UiS Brage

Artikkel IV

Ikke tilgjengelig i UiS Brage

Artikkel V

Ikke tilgjengelig i UiS Brage