

Bacheloroppgave

Effekten av høfettedietter på metabolisme og prestasjon hos
utholdenhetsutøvere

av

102088 og 102478

28. april 2017

VF202 - Bacheloroppgave

Bachelor i ernæring

Ord: 13421

April, 2017

Institutt for helsefag - Høgskolen Kristiania

”Denne bacheloroppgaven er gjennomført som en del av utdanningen ved Institutt for helsefag – Høgskolen Kristiania. Høgskolen Kristiania er ikke ansvarlig for oppgavens metoder, resultater, konklusjoner eller anbefalinger.”

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en del av bachelorgrad i ernæring ved Høyskolen Kristiania. Problemstillingen ble valgt med en bakgrunn i vår egen interesse i idrettsernæring, og da spesielt potensialet en høfetttdiett kunne ha for utholdenhetsutøvere. Oppgaven har bydd på en rekke utfordringer, og har vært en lærerik prosess.

Vi vil først og fremst takke Ole Petter Hjelle og Martin Strand for deres veiledning og oppmuntring underveis. Deretter vil vi takke Sigve, Wenche, Hallstein og Frøydis for støtte, tålmodighet og hjelp til retting. Vi vil også takke biblioteket ved Høyskolen Kristiania for hjelp til å finne relevant fagstoff og hjelp til bestillinger av artikler.

Innholdsfortegnelse

1.1 Energibruk under fysisk aktivitet	5
1.2 Dagens praksis	6
1.3 Høyfettdietter	7
1.4 Problemstilling	8
1.4 Definisjoner og forkortelser	8
2.1 Litteraturstudie	11
2.2 Begrunnelse for valg av metode	11
2.3 Litteratursøk med seleksjonskriterier	11
2.4 Kildekritikk	14
2.5 Etikk	14
2.6 Kostnader	14
3. Resultater	15
3.1 Studie 1 - Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling.	15
3.2 Studie 2 - Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise.	20
3.3 Studie 3 - The Influence of Low Versus High Carbohydrate Diet on a 45-min Strenuous Cycling Exercise.	24
3.4 Studie 4 - Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training.	27
3.5 Studie 5 - The Human Metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation.	32
3.6 Studie 6 - Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners.	37
3.7 Studie 7 - Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling.	43
3.8 Studie 8 - High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading: effects on exercise metabolism and cycling performance.	49
3.9 Studie 9 - Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to a high fat diet.	54
4 Kildekritikk	60
4.1 Design	60
4.2 Dietter	61
4.3 Forskere og tidsskrifter	62
5. Diskusjon	63
5.1 Adaptasjon i metabolisme	63
5.1.1 Oksidasjon	63

5.1.2 Glyserol	64
5.1.3 Muskelglykogen	64
5.1.4 Plasmanivåer	65
5.1.5 Frie fettsyrer og ketoner	67
5.1.6 Oppsummering	68
5.2 Adaptasjon og prestasjon	68
5.2.1 Endringer i prestasjon	68
5.2.2 Lengde og intensitet	69
5.2.3 Utmattelse	70
5.2.4 Oppsummering	71
5.3 Vurdering av resultater	71
5.3.1 Viktigste observasjon	71
5.3.2 Økt prestasjon, signifikant	72
5.3.3 Økt prestasjon, ikke signifikant	73
5.3.4 Uoverenstemmelser	74
5.3.5 Potensiale	75
5.3.6 Videre forskning	75
6. Konklusjon	76
Referanser	76

Sammendrag

Bakgrunnen for oppgaven er at høyfettdietter, fremfor den standardiserte høykarbodietten, er en økende trend blant idrettsutøvere. I denne oppgaven ønsket vi å studere forskningen på dette feltet, og undersøke om dette er en type diett idrettsutøvere kan ha nytte av, hvordan det påvirker metabolismen deres, og hva det gjør for prestasjonen deres. Dermed ble vår problemstilling:

Hvilken effekt har en høyfettdiett, sammenlignet med en høykarbodiett, på metabolisme og prestasjon hos utholdenhetsutøvere?

Metoden vi har brukt i denne oppgaven er litteraturstudie. Vi brukte søkemotoren Medline for å finne relevant litteratur, i tillegg til artikler fra boken Idrettsernæring og deres kilder. Vi hadde en rekke kriterier, og brukte kildekritikk for å finne solide kilder til vår oppgave.

De fleste studiene viste en tydelig metabolsk adaptasjon til HF ved en økt fettsyreoksidasjon og nedsatt karbohydratoksidasjon. Flere viste også økt konsentrasjon av serumglyserol og dermed økt lipolyse. Muskelglykogen varierte mer, og flere konkluderte med manglende korrelasjon mellom glykogenmengde i muskler og prestasjon hos HF eller HF-super. Plasmasubstratene varierte veldig, og var motstridende. Kan muligens forklares med at plasmakonsentrasjon ikke representerer mengden brukt. Det var veldig lite fokus på rollen ketoner spiller i fettadaptasjon. Bare fire studier nevnte ketonnivåer og bare to studier rapporterte en endring. Når det kom til prestasjon var det kun to av studiene som rapporterte om signifikante resultater, studie 8 og 9. Studie 1 og 2 hadde ingen signifikante resultater, men viste en forbedring i tid hos HF-gruppene som kan være viktig for enkelte utøvere. I studie 4 var det tydelig økt utmattelse hos HF.

Konklusjonen vår er at alle studiene viser en tydelig metabolsk adaptasjon ved HF-dietter. På tross av dette ser det ikke ut til at det noen signifikant differanse i effekten en HF-diett har på prestasjonen, sammenlignet med en HK-diett.

1. Innledning

1.1 Energibruk under fysisk aktivitet

For å oppnå optimal fysisk prestasjon er kroppen helt avhengig av å ha tilstrekkelig med tilgjengelig energi. Utholdenhetstrening benytter nesten utelukkende aerob metabolisme, der karbohydrater og fett er de primære energikildene (1). Jo lengre treningen varer, jo mer avhengig er kroppen av den aerobe metabolismen. Hvordan substratbruken er fordelt er avhengig av en rekke faktorer som intensitet, kosthold og hvilke substrater som er tilgjengelige. Ved submaksimal trening er det intensiteten som er mest avgjørende for forholdet mellom substratene, og høyere intensitet gir stadig høyere energibidrag fra karbohydrater fremfor fett (2). Hos trente personer som inntar en standard diett med stor mengde karbohydrater er det fastslått at ved intensitet under 50% av $VO_2\text{max}$ brukes det primært fett som energikilde, mens det fra omtrent 65% av $VO_2\text{max}$ og oppover er stadig større andel som kommer fra karbohydrater. Etter hvert som glykogenlagrene reduseres vil også intensiteten være vanskelig å opprettholde (1). Det vil dermed være avgjørende for prestasjon og tid til utmattelse hvor store og godt fylte glykogenlagrene til utøverne er. Disse lagrene er begrensede og er kun tilstrekkelige til å tilfredsstille kroppens energibehov i 1-3 timer ved en intensitet på over 60% av $VO_2\text{max}$ hos utholdenhetsutøvere (3, 1). Men ved korte og intense sprinter kan lagrene reduseres kraftig. En sprint på 30 sekunder kan tømme inntil 35% av glykogenlagrene i den aktive muskulaturen (1).

Etter hvert som glykogenlagrene tømmes vil hormonbalansen reguleres for å stimulere oksideringen av fettsyrer (1). Godt trente utholdenhetsutøvere vil ha en tilpasset metabolisme som gir tregere nedbrytning av glykogen enn hos utrente. I tillegg vil de ha en økt kapasitet til å bruke fett som substrat under fysisk aktivitet (4). Oksidering av fettsyrer for bruk under fysisk aktivitet går betydelig saktere enn oksideringen av karbohydrater (1). Utholdenhetsutøvere vil ha økt hastigheten på noen av de stegene som begrenser oksideringen av fettsyrer, og har en økt mulighet til å nyttiggjøre fett som energikilde. Om glykogenlagrene tømmes vil disse faktorene være med på å legge et godt utgangspunkt om man skal kunne bruke andre energisubstrater for å øke tid til utmattelse.

1.2 Dagens praksis

For utholdenhetsutøvere har det i lengre tid vært fokus på å forlenge tid til utmattelse så mye som mulig ved å øke tilgjengeligheten av karbohydrater (5, 1). Det er en rekke strategier som brukes for dette blant annet å innta karbohydratrike matvarer underveis i en konkurranse, spise karbohydratrik kost i timene som leder opp til konkurransen eller superkompensasjon av glykogenlagrene (5). Den første protokollen for superkompensasjon, som kalles den klassiske superkompensasjonen, ble utviklet på 60-tallet (1). Den gikk over sju dager der utøvere gjennomgikk glykogen tappende trening første dag og deretter tre dager med lavt karbohydratinntak etterfulgt av tre dager med en høyt karbohydratinntak. Dette økte glykogenlagrene betydelig. Denne protokollen har vist seg vanskelig å gjennomføre, og har i nyere tid blitt modifisert (1).

Den moderne protokollen for superkompensasjon består av to ulike strategier, med to ulike tidsperioder (1). Den går enten over tre dager eller kun over én dag. Protokollen over tre dager består av én dag med moderat trening, en dag med lett trening og en hviledag. I løpet av disse dagene inntas omtrent 70 E% fra karbohydrater. Protokollen over én dag er mer brukt. Da trener utøverne som normalt før de har én hviledag med høyt inntak av karbohydrater, opp mot 10 gram/kilo kroppsvekt, som gir maksimal oppfylling av glykogenlagrene (6). En så kortvarig protokoll har vist seg å være like effektiv som den klassiske, og med færre bivirkninger (1). Om man ikke har gjennomført superkompensasjon vil det ha en prestasjonsfremmende effekt å innta et karbohydratrikt måltid i løpet av timene før konkurranse for å fylle glykogenlagrene. Som et supplement til en av disse strategiene, eller som en egen strategi, er det også vanlig å innta karbohydrater underveis i økten i form av barer, gelé eller ulike glykogenholdige drikkevarer (7).

Alle disse strategiene gir økt tilgjengelighet til karbohydrater, som har vist seg å øke utholdenhetsprestasjon ved aktiviteter over 90 min (4). For utøvere som deltar i idretter med varighet under dette er det ikke vist noen positiv effekt av å øke nivåene av muskelglykogen over normale hvileverdier. Optimal prestasjon ved bruk av disse strategiene får man av å kombinere karbohydratinntak før og underveis i konkurranser (7).

1.3 Høyfettdietter

I nyere tid er det mange utøvere som har endret sin diett fra en høykarbodiett, som er dagens standarddiett, til en høyfettdiett (8). Dette på tross av at det er relativt lite forsket på en slik diett hos idrettsutøvere, og ingen standard er satt (5). Det er flere måter å definere hva en høyfettdiett er, men vi har tatt utgangspunkt i dietter med fettinnhold på 60-80 E%. Ytterligere spesifikasjoner er beskrevet under definisjoner.

Som nevnt er karbohydratlagrene i kroppen begrensede, mens kroppens fettlagre representerer hos enhver utøver et enormt energilager (9). Om man kunne utnyttet denne energien bedre vil det utgjøre en betydelig forskjell for utholdenhetsutøvere og deres prestasjon. En potensiell måte å gjøre dette på er ved en høyfettdiett. Målet med høyfettdietter for utholdenhetsutøvere er i første omgang å oppnå en metabolsk adaptasjon i.e. en økt fettsyreoksidasjon, og deretter en fysisk adaptasjon i.e kroppens evne til å utnytte fettsyrer og ketoner effektivt. Hypotesen er at om man kan øke tilgjengeligheten av denne energien vi har lagret vil man kunne utsette utmattelsen som inntreffer grunnet tomme glykogenlagre, og ha et energioverskudd til siste innsjutt (10, 11).

Som eksempel har en utholdenhetsutøver på 76,2 kg med normal kroppssammensetning glykogenet i kroppen fordelt mellom leveren, blodet og musklene, henholdsvis 80-110 gram, 0,9 gram/liter blod og 300-600 gram (1, 12). Fettlagrene hos samme mann, med 13,29% kroppsfett, vil være på 10 kg (12). I tillegg til at kroppens fettlager har en mye større lagringskapasitet inneholder fett over dobbelt så mye energi sammenlignet med karbohydrater, 9 kcal per gram, mens karbohydrater har bare 4 kcal (1). Dette vil si at lagrene av glykogen tilsvarer omtrent 2200 kcal, mens fettlagrene tilsvarer hele 90 000 kcal. Et energilager på ca. 90 000 kcal er i teorien energi nok til 144 timer maratonløping (12).

Eksempelet bruker gjennomsnittlig antropometrisk data fra artikkelen *A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods* (12). Der har de samlet data fra 286

mannlige utholdenhetsutøvere for å sammenligne deres fettmasse og skjelettmuskulatur ved bruk av ulike antropometriske metoder.

En av kroppens reaksjoner på utholdenhetstrening er en betydelig endring i metabolismen (5). Utholdenhetsutøvere har en økt kapasitet til å oksidere fettsyrer under trening, i tillegg til at deres oksidering av karbohydrater og tømning av glykogenlagre går noe tregere enn hos utrente mennesker. Om man kunne fremhevet denne endringen enda mer, for eksempel ved en diettendring, vil dette teoretisk sett kunne ha en svært positiv effekt.

1.4 Problemstilling

Vi ønsker med dette som bakgrunn å se på forskningen som er gjort på høyfettdietter hos utholdenhetsutøvere, og om det kan være en strategi som kan brukes for å forbedre utholdenhetsprestasjonen deres. Problemstillingen vår er:

Hvilken effekt har en høyfettdiett, sammenlignet med en høykarbodiett, på metabolisme og prestasjon hos utholdenhetsutøvere?

Blant de aktuelle effektene av et endret kosthold er en økt fettsyreoksidasjon, en redusert glukoseoksidasjon, og hvordan dette kan påvirker prestasjon (5). For å måle virkningen på prestasjon brukes hovedsakelig tid til utmattelse, tid på en gitt distanse, eller en gitt prosentandel av $VO_2\text{max}$ enten over en distanse eller en gitt tid.

Innad i de forskjellige studiene er det lagt stor vekt på signifikante endringer i tid for en og en intervensjon alene. Vi har valgt å se bort fra dette da det ikke er relevant for oss. Det gjelder blant annet i våre tabeller og figurer.

1.4 Definisjoner og forkortelser

Høykarbodiett I denne oppgaven er en høykarbodiett definert som en diett med karbohydratinnhold på 60-75 E%.

Høyfettdiett	En diett med fettinnhold på 60-80 E%. Videre bør det være et karbohydratinnhold på 5-20 E% og et proteininnhold rundt 15 E%.
Superkompensasjon av glykogenlagre	Tilføring av karbohydrater i samsvar med standardiserte protokoller, med mål å øke musklenes evne til å lagre glykogen (1). Videre i oppgaven bruker vi bare ordet “superkompensasjon”.
Utholdenhetsutøver	Person som enten driver med utholdenhetsidretter på konkurransenivå eller har et tilsvarende aktivitetsnivå.
RER	Respiratory exchange ratio er forholdet mellom karbondioksid og oksygen i et åndedrag (13). Det kan si oss noe om forholdet mellom ulike substrater, fett eller karbohydrater, kroppen oksiderer. En RER nær 1 tilsier at karbohydrater er hovedkilden til energi, mens en RER nær 0,7 vil si at det er nær ren fettforbrenning.
RQ	Respiratorisk kvotient er også forholdet mellom karbondioksid og oksygen, men på cellenivå (13). Ofte vil RER og RQ tilsvare hverandre, og begge deler kan si oss noe om substratbruken i kroppen.
FFA	Free fatty acids er frie fettsyrer som kroppen kan bruke som en umiddelbar energikilde (13).
VO₂max	Dette er et mål for det maksimale oksygenopptaket en utøver kan ha per minutt med fysisk aktivitet.
TT	Forkortelsen TT brukes i denne oppgaven om en tidstest. Disse er enten gjennomført på en fastsatt tid eller en fastsatt arbeidsmengde f.eks

tilsvarende et antall kJ per kilo kroppsvekt (14).

Oksidasjon En kjemisk reaksjon der et stoff avgir elektroner (15). Denne reaksjonen frigjør energi. Oksidering av fettsyrer og karbohydrater vil si å bruke disse som energikilder til fysisk aktivitet.

o/min Omdreininger per minutt, turtall.

Vi har valgt å definere begrepene ketoner, ketose og ketoacidose, da dette er begreper som ofte forveksles.

Ketoner Acetoacetate og b-hydroxybuturate, vannløselige energimolekyler som brukes i sitronsyresyklusen til å produsere energi (16). Aceton, restprodukt av spontan dekarboksylering av acetoacetat. Normalt bidrar ketonlegemene med 2-3% av kroppens energibehov.

Ketose En naturlig og ufarlig tilstand, der produksjonen av ketoner går opp for å kompensere for mangelen tilgang på glukose (16).

Ketoacidose Livstruende tilstand som i utgangspunktet bare kan ramme de uten evne til å produsere insulin (16). Ved mangel på insulin øker blodsukkeret, men cellene får ikke tilgang på glukosen. Derfor øker frigjøringen av fettsyrer fra fettvevet, og økte nivåer av glukagon stimulerer omdanningen til ketonlegemer i leveren. Opphopningen av ketonlegemer gir en forsurening av blodet og det oppstår ketoacidose.

2. Metode og datainnsamling

2.1 Litteraturstudie

I denne oppgaven benyttes litteraturstudie som metode. Et litteraturstudie er et studie basert på allerede publisert forskningslitteratur (17). Denne litteraturen gjennomgås systematisk for belyse og svare på problemstillingen man har satt (18).

2.2 Begrunnelse for valg av metode

Det er en rekke fordeler ved et litteraturstudie som gjør det til metoden som er best egnet for å undersøke og svare på den aktuelle problemstilling (17). Litteraturstudie er en relativt enkel metode, med få eller ingen kostnader og er et godt valg når man har begrenset tid. Man vil gjennom denne metoden tilegne seg en bred oversikt over relevant og oppdatert forskning på det aktuelle temaet.

2.3 Litteratursøk med seleksjonskriterier

For å finne relevant litteratur til denne oppgaven er det brukt både en systematisk og en usystematisk tilnærming. Utgangspunktet er boken *Idrettsernæring* og artikler som blir referert til i den (1). Her fant vi den systematiske oversiktsartikkelen *Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise* og gikk gjennom referanselisten i den for å finne kilder vi kunne bruke. Dette ga oss artiklene *Strategies to enhance fat utilisation during exercise*, *Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to a high fat diet* og *High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading*. Den systematiske delen ble gjennomført i databasen Medline. Medline er en database som i hovedsak inneholder vitenskapelige tidsskrifter som dekker temaer innen helse og medisin (18). Grunnet relativt få forskere på dette fagfeltet ble det ikke nødvendig å innskrenke søkene våre stort, som man kan se i tabell 2. Størsteparten av litteratursøket ble gjennomført i desember 2016 og januar 2017. Vi startet med et bredt utvalg for å få oversikt over teamet og forskningen som var gjort, og skrenket gradvis inn for å finne de artiklene som best kunne bidra til å besvare vår problemstilling.

I flere tilfeller var ikke fulltekst tilgjengelig via Medline, og derfor ble Google Scholar brukt som supplement. Om de aktuelle artiklene ikke var tilgjengelige her heller ble de bestilt via biblioteket på Høyskolen Kristiania. Det ble satt en rekke seleksjonskriterier for artiklene, som beskrevet i tabell 1. Vi fokuserte på å finne forskningsartikler på engelsk, og brukte derfor kun engelske søkeord, som beskrevet i tabell 2. På dette fagområdet er det i hovedsak forsket på menn, og forskningen gjort på kvinner er jevnt over av lavere kvalitet blant annet på grunn av ulike faktorer knyttet til utvalg og metode (1). På grunn av dette valgte vi å ekskludere studier gjort på kvinner.

Tabell 1. Seleksjonskriterier: Inklusjons- og eksklusjonskriterier brukt i litteratursøk.

Inklusjonskriterier	Eksklusjonskriterier
Utholdenhetsidrett	Mosjonister
Idrettsutøvere	Lavt aktivitetsnivå
Konkurransform	Overvekt/vektreduksjon
Høyfett	Høyt proteininnhold i diettene
Fagfellevurdert	Barn
	Ungdom
	Dyr

Tabell 2. Søkestrategi

Database	Søkeord	Søkekriterier	Antall studier	Inkluderte studier	Tittel
Medline	fat adaptation.mp.	Humans	17	4	Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling (14). Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise (19). Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training (21). Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise (5)
	(Athletic Performance OR Physical Endurance OR Physical Exertion) AND (Dietary Carbohydrates OR Carbohydrates OR carbohydrate.mp.) AND (fat.mp. OR Dietary Fats OR Fats) AND (Diet OR Diet, Carbohydrate-Restricted)	Humans	391	1	Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners (8). The Human Metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation.(22)
	Physical Endurance AND Ketosis/me [Metabolism]	Humans	1	1	The Human Metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation (22)
	dietary.mp. AND substrates AND (fat.mp. OR Dietary Fats OR Fats) AND (muscle.mp. OR Muscles)	Humans 2000-2007	33	1	Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes (11).
	cycling.mp. AND dietary.mp. AND (low Carbohydrate.mp. OR Diet, High-Fat OR high fat.mp.) AND High Carbohydrate.mp.	Humans 2000-2007	17	2	The Influence of Low Versus High Carbohydrate Diet on a 45-min Strenuous Cycling Exercise (20) Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling (24)

2.4 Kildekritikk

For å finne relevante kilder jobbet vi oss systematisk gjennom artiklene vi fant gjennom søkeprosessen. I tillegg til at de måtte bidra til å besvare problemstillingen var det viktig at kildene var troverdige. Da dette temaet er noe begrenset er mye av forskningen gjort av forskningsgrupper sammensatt av mange av de samme forskerne, så det ble ekstra viktig å være sikker på at dette var forskere som hadde relevant bakgrunn og at de var nøytrale. Blant studiene vi har valgt å bruke som litteraturgrunnlag er det noen eldre artikler. Vi har valgt å inkludere disse på grunn av at det ellers fremstår som gode kilder. Detaljert kildekritikk og vurderinger av feilkilder er spesifisert under hver enkelt artikkel. Vi har tatt utgangspunkt i primære kilder, artikler skrevet av forskerteamet som har utført prosjektene, og supplert med annen litteratur og systematiske oversiktsartikler.

2.5 Etikk

Da dette er en litteraturstudie tas det utgangspunkt i allerede publisert forskning, og det er få etiske hensyn å ta. Oppgaven skal følge de retningslinjene gitt for oppgaveskriving ved Høyskolen Kristiania og litteratursøket skal være dokumentert og dermed etterprøvbart.

2.6 Kostnader

I sammenheng med denne oppgaven har vi ikke hatt noen kostnader. Oppgaven er basert på publisert forskning som har vært mulig å få tak i gjennom ulike databaser. Artikler som ikke har vært tilgjengelige som gratis fulltekstversjonen av har vært mulig å bestille gjennom skolens bibliotek.

3. Resultater

3.1 Studie 1 - Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling.

Burke LM, Angus DJ, Cox GR, Cummings NK, Febbraio MA, Gawthorn K, Hawley JA, Minehan M, Martin DT, Hargreaves M. Journal of Applied Physiology 2000.

Hensikten med studien var å undersøke effekten av kort fettadaptasjon, etterfulgt av superkompensasjon, på metabolisme og prestasjon ved lengre sykkeløkter (14). Studien ble gjennomført i Australia. Utvalget bestod av åtte veltrente mannlige syklister og triatleter i alderen 26-32 år. Deltakerne hadde en gjennomsnittlig vekt på 74 kg. Alle deltakerne gjennomførte en periode med høyfettdiett med superkompensasjon (HF+super) og en periode med høykarbodiett (HK). Underveis gjennomførte de også et veiledet treningsprogram. Både treningsprogrammene og diettene ble spesielt tilpasset hver deltaker. HF+super bestod av minst 65 E% fett og <20 E% karbohydrater, mens HK-dietten hadde <15 E% og 70-75 E%, henholdsvis fra fett og karbohydrater.

Før forsøkene ble deltakerne testet ved to sykkeltester; en til utmattelse for å fastslå $VO_2\text{max}$, og en test som varte 20 minutter på 70% av $VO_2\text{max}$. Sistnevnte ble gjennomført dag en, dag seks og som en del av en større test dag sju. Etter testen dag seks hadde begge gruppene hviledag med høykarbodiett med 10 gram karbohydrater per kilo kroppsvekt. For HF+super ble dette superkompensasjon. Dag sju møtte deltakerne etter nattfaste, og fikk en placebofrokost før gjennomføring av tester. Den første testen var to timer sykling på 70% av $VO_2\text{max}$ (SS), direkte etterfulgt av en TT der de skulle gjennomføre arbeid tilsvarende 7 kJ/kg kroppsvekt raskest mulig. Underveis fikk de en standardisert mengde væske, og lik tilbakemelding fra forskerne.

Resultater

Tabell 3: Muskelglykogenkonsentrasjoner (14). Oppgitt i mmol/kg tørr kroppsvekt.

	Dag 1	Dag 6	Dag 7 før TT	Forbruk første 20 min av TT	Dag 7 etter TT
HF+super	451±32	255±24*§	554±45§	260±26	294±23**
HK	470±24	464±42	608±51§	360±43	248±20**

* Signifikant forskjell fra HK, $P < 0,05$.

** Signifikant forskjell fra før TT, $P < 0,05$.

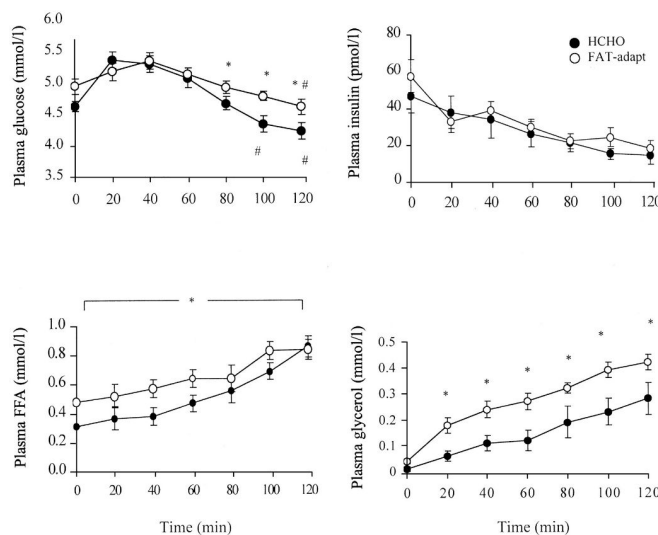
§ Signifikant forskjell fra dag 1, $P < 0,05$.

Dag seks var det signifikante forskjeller mellom HK og HF+super, der HF+super hadde signifikant lavere glykogennivå i musklene enn HK. Dag sju, etter superkompensasjon, var ikke denne forskjellen lenger signifikant. Etter gjennomført TT var begge gruppens glykogenlagre signifikant redusert sammenlignet med før testen.

Tabell 4: Plasmakonsentrasjoner av glyserol gjennom TT (14). Oppgitt i mmol/L.

	0 min	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min
HF + super	~ 0	0,18	0,23	0,26	0,31	0,38	0,41
HK	~ 0	0,06	0,11	0,12	0,18	0,21	0,28

Konsentrasjonene av plasmaglyserol var på alle tidspunkter signifikant høyere hos HF+super. Dette bekrefter økt lipolyse i hele kroppen (14). Det var ikke mulighet for å skille mellom potensielle kilder til fett.



Figur 1: Plasmaverdier under SS (14).

HCHO = HK

FAT-adapt = HF+super

* Signifikant forskjell mellom intervensjonene, $P < 0,05$.

Under SS var det ingen signifikant differanser i insulinnivåene i plasma, mens plasmanivåene av glukose sank signifikant mer i HK. Plasmanivåene av glyserol var like ved start, men steg signifikant mer hos HF+super etter 20 min og holdt seg signifikant høyere under hele testen. Plasmakonsentrasjonene av FFA var signifikant høyere hos HF+super ved start. Den holdt seg signifikant høyere 60 min inn i testen, men fra 80 min ser vi at differansen minsker og ved 120 min er det ingen differanse.

Tabell 5: RER for HF+super og HK (14). Oppgitt for dag 1 og dag 6 under sykling, deretter ulike faser av TT (dag 7); etter 20 min og videre til slutt punktet på 120 min.

	Dag 1	Dag 6	20 min	40 min	60 min	120 min
HF + super	0,90	0,82*	0,87* #	0,86*	0,86*	0,83*
HK	0,90	0,88#	0,93#	0,90	0,89	0,87

* Signifikant forskjell fra HK-gruppen, $P < 0,05$.

Signifikant forskjell fra dag 1, $P < 0,05$.

Det var signifikante forskjeller mellom HF+super og HK under sykling sjette dag og under hele TT. HF+ super hadde en signifikant lavere RER hele veien, som tilsier at større andel av energien de brukte under fysisk aktivitet kom fra fett (13).

Tabell 6: Oksidasjon av karbohydrater og fettsyrer for HF+super og HK (14). Oppgitt i gram/min for dag 1 og dag 6 under sykling, deretter ulike faser av TT, dag 7; etter 20 min og videre til sluttpunktet på 120 min.

	Dag 1	Dag 6	20 min	40 min	60 min	120 min
Karbo HF + super	3,00	1,70*#	2,49*#	2,25	2,25	2,00
Karbo HK	3,00	2,51#	3,25	2,99	2,98	2,50
Fett HF + super	0,55	1,02*#	0,74*#	0,78*	0,79*	0,91*
Fett HK	0,45	0,60#	0,39	0,45	0,46	0,70

* Signifikant forskjell fra HK, $P < 0,05$.

Signifikant forskjell fra dag 1, $P < 0,05$.

Karbohydratoksidasjonen til begge gruppene var i utgangspunktet like før de startet på dietten. Etter seks dager diett hadde begge gruppene signifikant lavere karbohydratoksidasjon enn dag en, og HF+super hadde signifikant lavere verdier enn HK.

Tabell 7: Tidsbruk og kraft produsert under TT (14). Gruppene er fordelt i hele HF+super og HK, og et utvalg (n=5) av begge grupper.

	Tid	Kraft
HF+super	30.73 ± 1.12 min*	281 ± 14 W**
Utvalg av HF+super	31.53 ± 1.42 min ^a	-
HK	34.17 ± 2.62 min *	260 ± 24 W**
Utvalg av HK	31.98 ± 2.12 min ^a	-

* Ikke en signifikant forskjell, men 8 % bedre tid, $P = 0,21$.

** $P = 0,24$.

^a Differanse på 0,8%, $P = 0,59$.

Det var to deltakere som under HF+super presterte signifikant bedre enn resten av utvalget. Ser man på resultatene uten disse to deltakerne er differansen mellom de to diettene minimal. Er de to inkludert er det likevel ingen signifikante forskjeller mellom de to gruppene, men 8% bedre tid, som kan være viktig for utholdenhetsutøvere. At disse to utmerket seg så tydelig forklares med at de heller gjorde det dårlig på testen de gjennomførte mens de gikk på HK-dietten, da de viste tydelige tegn til utmattelse. Det blir foreslått at utøvere som disse, som har større risiko for hypoglykemi under konkurranser, kan ha fordel av en HF-diett da det kan hjelpe dem med å opprettholde en mer stabil konsentrasjon av blodglukose. Disse utøverne vil eventuelt kunne innta karbohydrater i form av gele eller drikke underveis, og få tilsvarende effekt. Det kom også frem at alle deltakere hadde opplevd symptomer som hodepine og økt utmattelse underveis i HF+super. Man så ellers at diettene ga signifikante endringer i metabolismen under utholdenhetstrening på submaksimal belastning. Det oppstod en tydelig muskelglykogensparing i HF+super. Høyere konsentrasjoner av plasmaglyserol bekreftet også en høyere grad av lipolyse i hele kroppen. Endringene i oksidasjonen ved høyfettdietten var uavhengige av glykogentilgjengeligheten, da fettoksidasjonen vedvarte etter superkompensasjon. Konklusjonen

i denne studien var at diettene ga signifikante metabolske endringer, men ingen signifikant effekt på prestasjon.

3.2 Studie 2 - Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise.

Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Stepto NK, Nikolopoulos V, Burke LM, Hawley JA. Journal of Applied Physiology 2001.

Hensikten med studien var å undersøke effekten av en kort fettadaptasjon, etterfulgt av superkompensasjon, på utholdenhetsprestasjon (19). Studien ble gjennomført i Australia. Forskerne ville undersøke om effekten av fettadaptasjon ville ha en økt effekt om glykogenlagrene var tømt. Derfor undersøkte de effekten på utholdenhetstrening over fire timer. Utvalget bestod av åtte mannlige syklister og triatlonutøvere i alderen 18-29 år med en vekt på 70-78 kg som ble randomisert i to grupper. Forsøket varte ti dager og ble gjentatt en gang. Begge gruppene startet med én dag standardisert HK-diett. Deretter fulgte sju dager på HK-diett eller høyfettdiett (HF) tilpasset hver enkelt deltaker sine behov og preferanser. HK inneholdt 68 E% karbohydrater, 16 E% fett og 16 E% protein, mens HF hadde 68 E% fett, 16 E% karbohydrater og 16 E% protein. I samme periode gjennomførte deltakerne også et treningsprogram under veiledning. Dette var tilpasset hver deltakers fysiske form og normale treningsbelastning. I tillegg gjennomførte de 20-minutester på ergometersykkel morgenene av dag to, fem og åtte. Etter diettene fulgte en hviledag med superkompensasjon. Dag ni fikk deltakerne frokost, som skulle tilsvare hva de spiste før en konkurranse, og gjennomførte testing som bestod av en fire timers sykkeltest på 65% av VO_2 max, etterfulgt av ytterligere en time sykling med økt kraft. Underveis fikk alle 7 ml/kg kroppsvekt av en 10 g/100 ml glukoseblanding hvert 30. min. Forsøket ble gjennomført to ganger, så alle deltakerne gjennomgikk begge dietter, med en periode på 18 dager med sin normale kost mellom.

Resultater

Tabell 8: RER for HF+super og HK (19). Oppgitt ulike dager under dietten og på testdagen. 15 min ut og 150 min ut av 4 timers test.

	Dag 2	Dag 5	Dag 8	15 ut i test	150 min ut i test	Mean i siste test
HF + super	0.85±0.01	0.79±0.01*	0.78±0.01*	0.88±0.01*	0.85±0.01*	0,87*
HK	0.85±0.02	0.85±0.02	0.89±0.01	0.93±0.01	0.89±0.01	0,90

* Signifikant lavere enn HK på samme tid, $P < 0,05$.

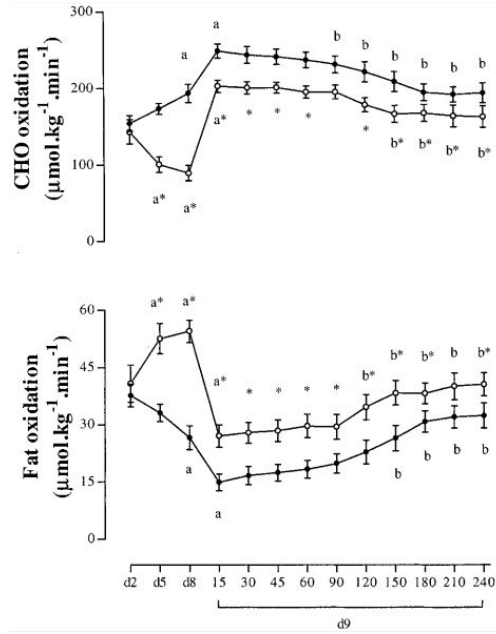
HF+super hadde med unntak av første måling (dag to) signifikant lavere RER enn HK på alle tidspunkter (19). Dette vil si at HF+super hadde en høyere fettoksidasjon enn karbohydatoksidasjon (13). HF+super hadde også signifikante endringer dag fem, åtte og 15 min ut i siste test sammenlignet med dag to, og signifikant høyere verdier mot slutten av den siste testen sammenlignet med verdiene fra testene på 20 min. Dette gjaldt også HK, som hadde signifikant høyere RER dag 8 og 15 min ut i siste test sammenlignet med dag to. Mean gjennom siste test var signifikant ulikt mellom de to gruppene.

Tabell 9: Kraft produsert og distanse dekket på den siste timen av testing (19). Deltakerne skulle sykle så fort som mulig i en time.

	Kraft	Distanse
HF+super	312 ± 15 W*	44,25 km*
HK	279 ± 20 W*	42,1 km*

* $P=0,11$.

P-verdien både for kraft og distanse var 0,11, dermed var det ingen signifikante forskjeller mellom gruppene. Det var en 4% forbedring i tid for HF+super gjennom hele testen. Dette er ikke signifikant, men kan ha betydning for en utholdenhetsutøver.



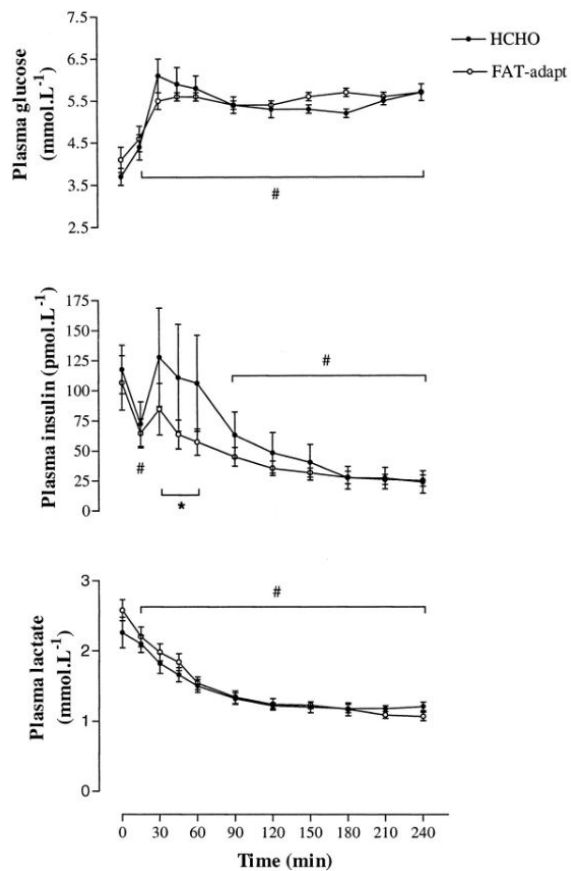
Figur 2: Oksidasjon av karbohydrater og fettsyrer for HF+super (hvit) og HK (sort) (19).

* Signifikante forskjeller fra HK, $P < 0,05$.

^a Signifikante forskjeller fra dag 2, $P < 0,05$.

^b Signifikante forskjeller fra tid=15 min, $P < 0,05$.

HF+super hadde ved alle målinger etter dag to lavere oksidasjon av karbohydrater enn HK. For oksidasjon av fett var det motsatt, alle målinger var høyere. Dette stemmer overens med målingene av RER, som også viste at HF+super oksidert mer fett, og mindre karbohydrater, enn HK.



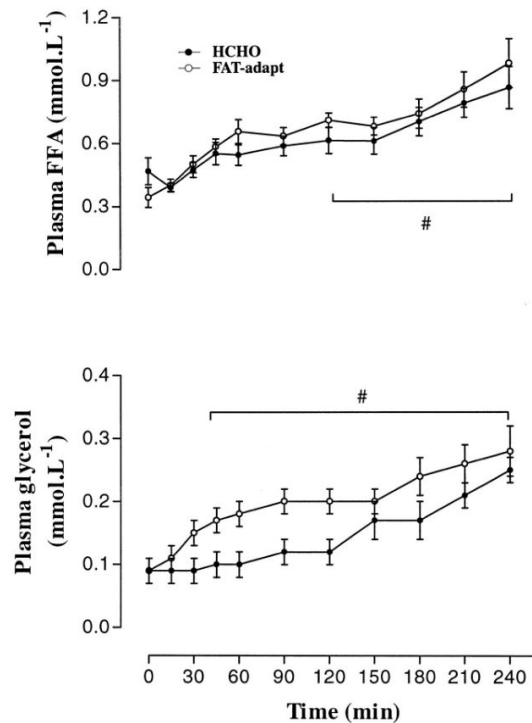
Figur 3: Konsentrasjonene av glukose, insulin og laktat i plasma under 4 timers testen, dag 8 (19).

HCHO = HK

FAT-adapt = HF+super

* Signifikante forskjeller mellom intervensjonene, $P < 0,05$.

Det var kun signifikante differanser i konsentrasjonene av insulin. Her var det en signifikant stigning hos HF+super etter 30 min, som fortsatt var signifikant høyere enn HK ved 60 min.



Figur 4: Konsentrasjonene av FFA og glycerol i plasma under 4 timers testen, dag 8 (19).

HCHO = HK

FAT-adapt = HF+super

Her var det ingen signifikante differanser mellom intervensjonene.

Konklusjonen var at man så en tydelig endring i metabolismen når man kombinerte trening som økte sparingen av glykogen og oksidasjonen og fett med HF+super. Til tross for dette var det ingen signifikante endringer av prestasjonen.

3.3 Studie 3 - The Influence of Low Versus High Carbohydrate Diet on a 45-min Strenuous Cycling Exercise.

Kavouras SA, Troup JP, Barning JR. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 2004.

Hensikten med studien var å undersøke effekten av en høykarbodiett mot en lavkarbodiett (tilsvarende HF) under en 45-min sykkeløkt på 82% av VO₂max (20). Studien ble gjennomført i Colorado Springs. Utvalget bestod av 12 godt trente mannlige syklister i alderen 27-29 år med en

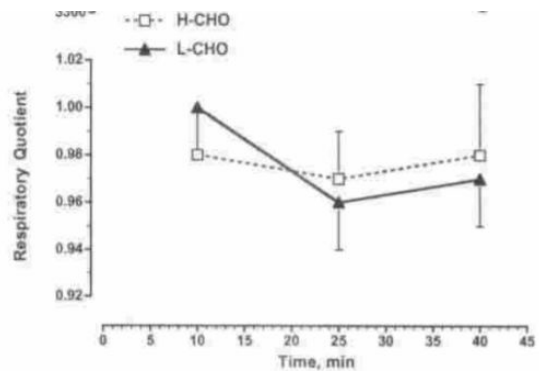
vekt på 71-75 kg. Forsøket varte sju dager og ble gjentatt en gang, med to-tre ukers opphold mellom forsøkene. Før forsøket startet ble kroppsfett og kroppssammensetning beregnet hos deltakerne. Deretter ble deltakerne testet ved en sykkeltest til utmattelse der o/min var lik hele veien, men motstanden trinnvis økte med 50 W hvert andre min. Underveis i denne testen ble også luftprøver tatt, og brukt til å beregne VO_2 max.

Begge gruppene startet på en mikset diett med 50 E% karbohydrater, 35 E% fett og 15 E% protein i tre dager. Deretter ble de delt inn i HK- og HF-dietter med henholdsvis 75 E% karbohydrater, 13 E% fett og 12 E% protein og 12 E% karbohydrater, 66 E% fett og 22 E% protein. I løpet av forsøket gjennomførte deltakerne sykkeløker på ergometersykler. Øktene var på $76 \pm 2\%$ av VO_2 max og varierte i lengde, fra 90 min første dag, 60 min dag to og tre, helt ned til 20 min dag fire og fem, og deltakerne ble veiledet underveis. Øktene de første tre dagene var for å tømme glykogenlagrene i begge grupper. Det ble ikke gjennomført noen fysisk aktivitet dag seks. Dag sju ble deltakerne testet ved en 45-min sykkeløkt på $82 \pm 2\%$ av VO_2 max. Dette var etter nattfaste og med standardisert tilbakemelding underveis.

Resultater

Tabell 10: Oksidasjon (20)

	HK	HF
Oksidativt energiforbruk (MJ)	$3,31 \pm 0,10$	$3,28 \pm 0,11$
Energiforbruk av karbohydrater (MJ)	$2,80 \pm 0,17$	$2,89 \pm 0,11$
Karbohydratoksidasjon (g)	$161,7 \pm 10,6$	$166,9 \pm 6,9$

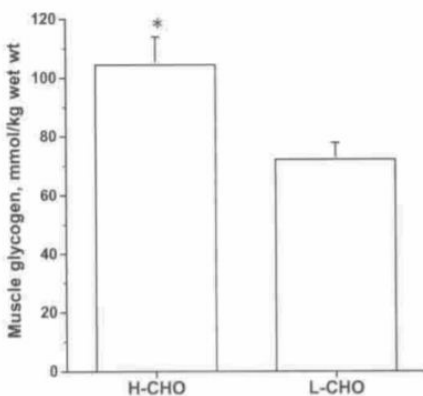


Figur 5: Respiratorisk kvotient (20).

H-CHO = HK

L-CHO = HF

Ingen signifikante differanse mellom intervensjonene på tross av at det var en vesentlig nedgang hos HF.



Figur 6: konsentrasjon av muskelglykogen før 45 min testen oppgitt i mmol/kg våt kroppsvekt (20).

H-CHO = HK

L-CHO = HF

* Signifikante forskjeller mellom intervensjonene, $P < 0,05$.

Tabell 11: Ulike variabler før og etter trening i forsøkene (20). Verdier oppgitt i mmol/L.

	Før trening		Etter trening	
	HK	HF	HK	HF
Glukose	4,5 ± 0,1	4,9 ± 0,3	6,7 ± 0,6	5,2 ± 0,2
Insulin	55,4 ± 7,2	68,9 ± 9,9	78,3 ± 14,2	55,6 ± 8,5
Triglyserider	1,47 ± 0,28*	1,03 ± 0,14	1,67 ± 0,24**	1,14 ± 0,09
FFA	0,41 ± 0,08	0,44 ± 0,09	0,29 ± 0,07	0,26 ± 0,04

*Signifikant økning i HF-gruppen, før trening

** Signifikant økning i HF-gruppen, etter trening

Den eneste variabelen det er noen signifikant forskjell på i de to gruppene er triglyserider. Både før og etter trening har HK en signifikant høyere verdi sammenlignet med HF/lavkarbo på samme tidspunkt. Utenom dette ble det heller ikke registrert noen signifikante forskjeller i oppfattet anstrengelse, hjerterytme, oksygenopptak eller respiratorisk kvotient. Det var ingen signifikant forskjell i prestasjonen til de to gruppene. Konklusjonen av denne studien var at HF senket nivåene av muskelglykogen, men ga ingen tydelig respons på prestasjon sammenlignet med HK.

3.4 Studie 4 - Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training.

Stephens NK, Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Burke LM, Hawley JA. Medicine and Science in Sports and Exercise 2002.

Hensikten med studien var å undersøke om utholdenhetsutøvere kunne gjennomføre treningsøkter med høy intensitet etter å ha gjennomført en HF-diett, og hvordan dette eventuelt påvirket prestasjonen deres (21). Studien ble gjennomført i Australia. Utvalget bestod av sju godt trente mannlige syklister og triatleter i alderen 18-30 år med en vekt på 70-80 kg. Det ble gjennomført en innledende test for å fastslå 65% og 85% av VO₂max. Før deltakerne startet på diettene gjennomførte alle en dag på en standardisert diett med 58 E% karbohydrater, 27 E% fett

og 15 E% protein. Deretter ble de randomisert til en diett, enten HF eller HK, og gjennomførte denne i tre dager. HF-dietten bestod av >65 E% fett og <20 E% karbohydrater, mens HK hadde 70-75 E% karbohydrater og <15 E% fett. Etter denne perioden ble de testet og så fulgte 18 dager med deres normale diett, før de gjennomførte forsøket igjen med den andre dietten. Treningen de utførte underveis ble loggført for å sørge for at det ikke ble gjort noe annerledes i de to periodene. For å undersøke effekten av dietten gjennomførte deltakerne to standardiserte treningsøkter på ergometersykkel (ST) i hvert forsøk. Den første økten, dag en, var for å senke konsentrasjonen av muskelglykogen for å skape en tydelig forskjell mellom gruppene. Den andre testen var lik og ble gjennomført dag fire.

Siste dag var det én test delt i to; 20 min oppvarming på 65% av VO_2 max etterfulgt av 8x5 min intervaller på $86\pm 2\%$ av VO_2 max med 60 sekunders aktiv pause mellom hver intervall (21). Dette ble gjennomført etter nattfaste. Deltakerne fikk vann etter ønske underveis og det ble tatt blodprøver tre ganger i løpet av intervalltreningen. Etter hver intervallrunde ble deltakerne bedt om å gi tilbakemelding om deres grad av utmattelse på Borgs skala fra 6-20 (21).

Resultater

Tabell 12: RER under ST og intervalløkten på testdagen (21).

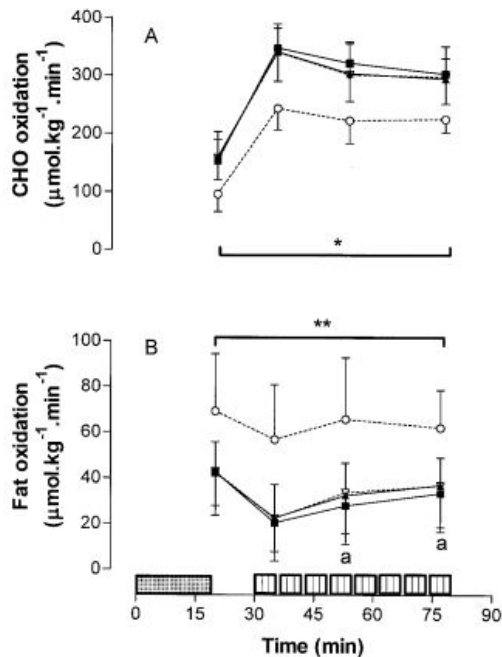
	ST	Runde 1	Runde 4	Runde 8
HK dag 1	0.85±0.03	0.94±0.04	0.92±0.03*	0.91±0.03*
HF dag 1	0.85±0.04	0.94±0.05	0.90±0.03*	0.90±0.03*
HK dag 4	0.85±0.03	0.94±0.03	0.91±0.03*	0.90±0.04*
HF dag 4	0.79±0.03**	0.86±0.03**	0.85±0.03**	0.85±0.02**

* Signifikant lavere verdi fra runde 1, $P < 0,01$.

** Signifikant forskjell fra HK dag 1, dag 4 og HF dag 1, $P < 0,01$.

Første dag sank RER ut over intervalløkten hos begge grupper, altså forbrant de mer fett utover testen. Fjerde dag hadde HF signifikant lavere RER enn dag en, både sammenlignet med seg selv

og HK. De hadde også signifikant lavere verdier enn HK på samme tid, altså en større fettoksidasjon enn HK.



Figur 7: Oksidasjon av karbohydrater og fettsyrer under 20 min test (første del) og etter intervall 1, 4 og 8 (fra 30 og utover) (21).

▲ = Dag 1 på HK

■ = Dag 4 på HK

▽ = Dag 1 på HF

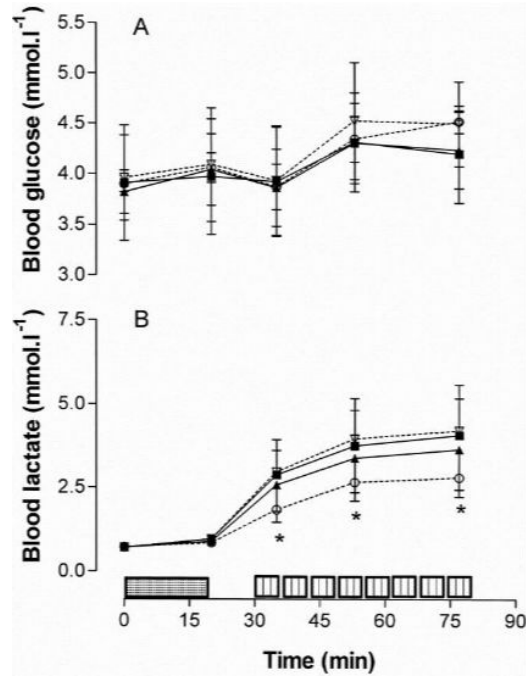
□ = Dag 4 på HF

* Signifikant effekt av diett, $P < 0,05$.

** Signifikante effekter av diett, $P < 0,01$.

a Signifikant høyere enn intervall 1, $P < 0,05$.

Her ser man at HF hadde lavere karbohydratoksidasjon enn HK etter 20-minutterstesten og etter alle intervallene. De hadde også en høyere fettoksidasjon på de samme tidspunktene. Dette stemmer overens med målt RER, som vi ser i tabell 12.



Figur 8: Konsentrasjoner av glukose og laktat i plasma, før, under og etter 20 min testen (grå firkant) og høyintensitets intervalltrening (hvite firkanter).

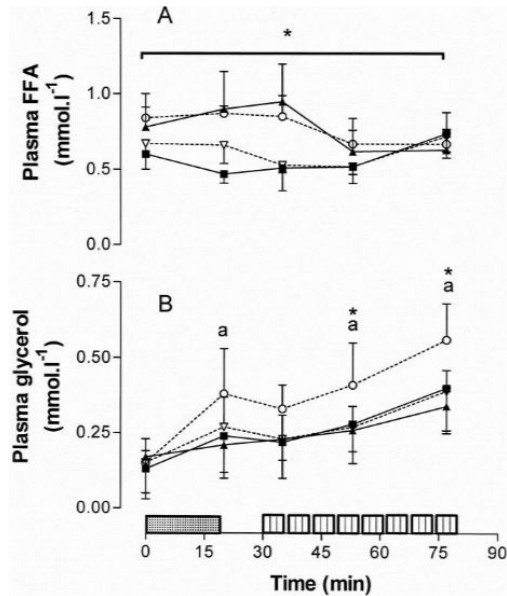
▲ = Dag 1 på HK

■ = Dag 4 på HK

▽ = Dag 1 på HF

□ = Dag 4 på HF

*Signifikant lavere for HF d4, $P < 0,05$.



Figur 9: Konsentrasjoner av FFA og glyserol i plasma, før, under og etter 20 min testen (grå firkant) og høyintensitets intervalltrening (hvite firkanter)(21).

▲ = Dag 1 på HK

■ = Dag 4 på HK

▽ = Dag 1 på HF

□ = Dag 4 på HF

*Signifikant effekt av intervensjon, $P < 0,01$.

Denne studien viste en tydelig endring i metabolismen hos HF. Deltakerne hadde en høyere fettoksidasjon ved HF, men også en tydeligere følelse av utmattelse. Det ble konkludert med tre punkter: 1) At utholdenhetsutøvere på konkurransenivå kan gjennomføre intensiv intervalltrening samtidig som de går på en HF-diett. 2) At en HF-diett kombinert med trening fremkalte en høyere fettoksidasjon, 3) men at sammenlignet med HK ble HF assosiert med økt følelse av utmattelse under alle typer gjennomført trening.

3.5 Studie 5 - The Human Metabolic Response to Chronic Ketosis Without Caloric Restriction: Preservation of Submaximal Exercise Capability with Reduced Carbohydrate Oxidation.

Phinney SD, Bistrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. Metabolism - Clinical and Experimental 1983.

Hensikten med studien var å undersøke om man kan opprettholde god fysisk prestasjon ved utholdenhetstrening når man er i kostindusert ketose (22). Utvalget bestod av fem elitesyklister. De var i alderen 20-26 år, 173-192 cm høye og med en vekt på 62,8-81,7 kg (23).

I denne artikkelen ble en elitesyklist definert som *“one capable of attaining a maximal oxygen uptake of 65 mL/kg/min on a pedal ergometer in the laboratory”* (22).

Forsøket bestod av fem uker intervensjon; først en kontrolluke der deltakerne fikk en HK-diett og deretter fire uker med en ketogen diett (22). HK-dietten inneholdt 16 E% protein, 56 E% karbohydrater og 28 E% fett (23). Den ketogene dietten hadde tilsvarende energi- og proteininnhold som kontroldietten, men karbohydratinnholdet var redusert til 2,7 E% og fettmengden juster opp til 81 E% (22, 23). Denne studien hadde særlig fokus på å opprettholde optimale vitamin- og mineralkonsentrasjoner. Det ble derfor gitt supplementer på 600 mg kalsium, 300 mg magnesium, 1 g kalium og 5 g natrium i form av buljong og salt i matlagingen. Alle deltakerne ble bedt om å trene som normalt ved å sykle ca. 160 km/uke og loggføre utført trening (22).

Alle tester ble utført tidlig, uten å bryte nattfasten (22, 23). Først ble det utført en test av glukoseoksidasjonsrate. VO_{2max} -testen ble utført to ganger; en gang ti dager før start av den ketogene dietten og en gang i tredje uke av den ketogene dietten (22). VO_{2max} ble målt ved hjelp av ergometersykkel og O_2/CO_2 ble analysert. Deltakerne startet syklingen med en motstand på 150 W i fire min, deretter ble motstanden økt med 50 W hvert andre min til deltakerne ikke kunne opprettholde en tråkkfrekvens over 60 o/min. Alle deltakere nådde en motstand på minst 350 W i 60 sekunder.

Utholdenhetstest ble også utført to ganger, en gang etter kontrolluken og en gang i fjerde uke av ketosedietten (22). Submaksimal utholdenhet ble testet ved intensitet tilsvarende 60-65% av VO_2 max. Etter testen av glukoseoksidasjonsrate, som hadde en varighet på to timer, ble deltakerne bedt om å fortsette med samme intensitet til de ikke lenger kunne opprettholde en tråkkfrekvens over 60 o/min. Det ble tatt blodprøver og målt O_2/CO_2 90-120 min inn i utholdenhetstesten. Det ble også tatt blodprøver i hvile, etter 30 min fysisk aktivitet, ved utmattelse og 15 min etter endt test. Det ble utført muskelbiopsier før og etter utholdenhetstesten, i kontrolluken og i fjerde uke av ketosedietten.

Resultater

Tabell 13: Resultater fra VO_2 max-test (22).

	Kontrolluke	Ketose, uke 3
VO_2 (l/min)	5.10 ± 0.18	5.00 ± 0.20
RQ	1.04 ± 0.02	$0.90 \pm 0.02^*$

VO_2 = gjennomsnittss oksygenopptak/min. fra 30 min til utmattelse.

*= Signifikant forskjell, $P < 0.01$.

Etter tre uker på ketosediett hadde deltakerne en lavere RQ, dermed en høyere fettoksidasjon enn i kontrolluken. Det var fortsatt høyere oksidasjon av karbohydrater enn fett på dette tidspunktet.

Tabell 14: Resultater fra utholdenhetstest (22).

	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Varighet, min	147 ± 13	151 ± 25
RQ	0.83 ± 0.01	$0.72 \pm 0.02^*$
VO_2 (l/min)	3.18 ± 0.19	3.21 ± 0.18

VO_2 = gjennomsnittlig oksygenopptak/min. fra 30 min til utmattelse.

* Signifikant forskjell fra kontrolluke, $P < 0.01$.

Det var ingen signifikant forskjell i tid mellom de to gruppene. Det var heller ingen signifikant forskjell på VO₂. Når det kom til RQ var det en signifikant forskjell mellom kontrolluken og ketoseuken, RQ var lavere i ketoseuke fire, som tilsvarer en høyere oksidasjon av fett (13). Her var RQ 0,72, som vil si at nesten all energien som ble brukt kom fra fett.

Tabell 15: Glukose (mmol/L) (22).

Tid	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Hvile	4,40 ± 0,07	4,06 ± 0,18
30 min.	5,72 ± 0,25*	4,91 ± 0,39**
Utmattelse	4,43 ± 0,38*	4,63 ± 0,29**
Etter	4,73 ± 0,38*	4,60 ± 0,26

* Signifikant endring fra forrige måling, $P < 0.01$.

** Signifikant endring fra forrige måling, $P < 0.02$.

Glukosenivåene hadde en signifikant økning fra hvile til 30 minutter ut i testen både i kontrolluken og fjerde ketoseuke. Deretter sank nivåene signifikant ved begge dietter.

Endringene i kontrolluken var noe større enn i fjerde ketoseuke. I kontrolluken var det også en signifikant økning etter endt trening.

Tabell 16: FFA (mmol/L) (22).

Tid	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Hvile	0,68 ± 0,07	0,96 ± 0,12
30min.	0,65 ± 0,10	1,26 ± 0,09**
Utmattelse	1,25 ± 0,13	1,60 ± 0,31
Etter	2,84 ± 0,23*	3,02 ± 0,31*

* Signifikant endring fra forrige måling, $P < 0.01$.

** Signifikant forskjell fra kontrolluke

30 minutter inn i testen var det signifikant høyere nivåer av FFA fjerde ketoseuke sammenlignet med kontrolluken, som kan tilsi en bedre tilgjengelighet av lipider som substrat. Under begge diettene var det en signifikant økning i FFA etter test.

Tabell 17: 3-hydroksybutyrat (mmol/L) (22).

Tid	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Hvile	0,04 ± 0,02	1,28 ± 0,35*
30 min.	0,06 ± 0,02	1,16 ± 0,30*
Utmattelse	0,30 ± 0,18	1,45 ± 0,47*
Etter	0,46 ± 0,09	2,44 ± 0,46*#

*Signifikant forskjell fra kontrolluken, $P < 0,001$

Signifikant økning fra forrige måling

Nivåene av 3-hydroksybutyrat var på alle målepunkter signifikant høyere i fjerde ketoseuke. Begge gruppene hadde en økning mot slutten av testen, og en videre økning etter testen. Sistnevnte var bare signifikant etter ketosedietten.

Tabell 18: Laktat (mmol/L) (22)

Tid	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Hvile	1,27 ± 0,10	1,25 ± 0,07
30 min.	3,08 ± 0,55*	2,42 ± 0,35*
Utmattelse	2,77 ± 0,61	2,41 ± 0,27
Etter	1,88 ± 0,13	2,22 ± 0,39

*= Signifikant økning fra hvile, $P < 0,01$.

Tabell 19: Insulin (mmol/L) (22)

Tid	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Hvile	9,0 ± 0,3	6,9 ± 0,5
30min.	7,6 ± 0,8	6,2 ± 1,2
Utmattelse	4,3 ± 0,5*	6,1 ± 0,9
Etter	9,3 ± 1,3	12,6 ± 2,3**

* Signifikant lavere enn verdien ved hvile og etter test, $P < 0,01$.

** Signifikant høyere enn verdier ved hvile og under trening, $P < 0,001$.

Tabell 20: Muskelglykogen (mmol/kg wet wt muscle) (22).

	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Før test	143 ± 10	76 ± 5*
Etter test	53 ± 5	56 ± 4

* Signifikant endring fra kontrolluke, etter test, $P < 0,02$

Endringen i muskelglykogen etter endt test og før testing fjerde ketoseuke indikerer at deltakerne kunne opprettholde og regenerere muskelglykogen på en ketosediett.

Tabell 21: Gjennomsnittøog glukoseoksidasjon ved fysisk aktivitet (22).

	Kontrolluke	Ketose, uke 4
Glukoseoksidasjon	15.1 + 2.5 mg/kg/min *	5.1 + 0.9 mg/kg/min*

* $P < 0,05$

Konklusjonen var at den ketogene dietten ikke hadde noen negativ effekt på prestasjon ved utholdenhetstrening for elitesyklister, verken VO_2 max eller kapasiteten for utholdenhet på 64% av VO_2 max ble svekket etter tre-fire uker på dietten. Dette på grunn av den metabolske

adaptasjonen hos deltakerne som førte til en signifikant sparing av muskelglykogen og ga økt fetttsyreoksidasjon, og en fysiologisk adaptasjon der fett var primær muskelsubstrat. En del av konklusjonen var også at resultatene her ikke er i strid med den etablerte forståelsen om at det er korrelasjon mellom tomme glykogenlagre og utmattelse. Det demonstrerer derimot at resultatene etter en metabolsk adaptasjon til en ketosediett kan konkurrere med resultatene etter en høykarbodiett.

3.6 Studie 6 - Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners.

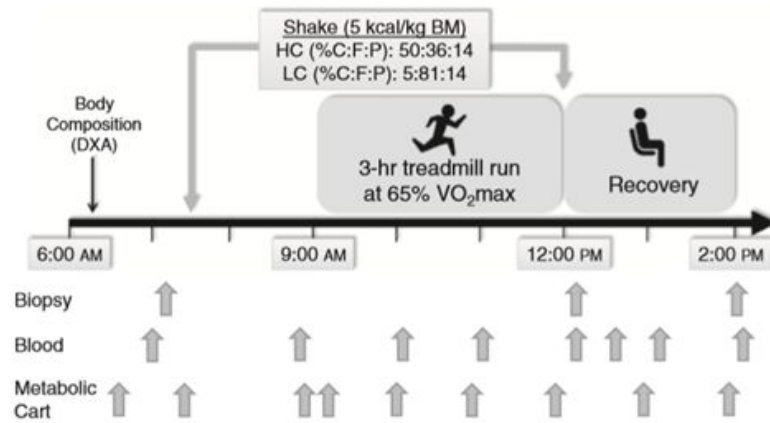
Jeff S. Volek, Daniel J. Freidenreich, Catherine Saenz, Laura J. Kunces, Brent C. Creighton, Jenna M. Bartley, Patrick M. Davitt, Colleen X. Munoz, Jeffrey M. Anderson, Carl M. Maresh, Elaine C. Lee, Mark D. Schuenke, Giselle Aerni, William J. Kraemer, Stephen D. Phinney. Metabolism - Clinical and Experimental 2016.

Hensikten med studien var å sammenligne metabolske differanser hos ultra-maratonløpere og triatlonutøvere som inntar en HK-diett mot de som inntar en HF-diett (8). Dette for å fastslå graden av metabolsk adaptasjon til en HF-diett ved utholdenhetstrening. Utvalget besto av 20 ultra-utholdenhetsutøvere i en alder fra 21 til 45 år. De veide mellom 57.9–79.9 kg og var mellom 167.1–182 cm høye. Deltakerne konkurrerte i maraton på minst 50 km og/eller triatlon med en minimumsdistanse på 56,5 km og var i topp 10% av finalistene.

Deltakerne ble fordelt på to grupper ut i fra hvilket kosthold de fulgte (8). Det var ti deltakere i hver gruppe. Det var et krav at de som ble valgt ut til de ulike gruppene hadde fulgt sin diett i minst seks måneder før oppstart av forsøket. De som ble valgt hadde fulgt sine respektive dietter i et gjennomsnitt på 20 måneder. HK-dietten bestod av omtrent 59 E% karbohydrater, 14 E% proteiner og 25 E% fett og HF-dietten bestod av omtrent 10 E% karbohydrater, 19 E% protein og 70 E% fett.

Det ble brukt indirekte kalorimetri og løpetest på tredemølle for å anslå $VO_2\text{max}$ (8). Deltakerne hadde fastet i fire timer før testen startet. Testen hadde 3 min oppvarming i en fart på 5.6 km/t, etterfulgt av 2 mins etapper som trinnvis økte fart og stigning tilsvarende en 5% økning i VO_2

per etappe. Dette fortsatte til deltakerne nådde utmattelse (≤ 18 min). Indirekte kalorimetri ble også brukt til å estimere raten av karbohydrat- og fettsyreoksidasjon.



Figur 10: Eksperimentell protokoll for å bestemme metabolsk respons til submaksimal trening (8).

Løpetesten ble utført etter en 10 timers nattfaste (8). 90 min før testen startet fikk deltakerne en shake med ca. 343 kcal og tilsvarende energifordeling som deres diett. Testen varte i 180 min med intensitet tilnærmet 65% av VO_2 max. Det ble tatt blodprøver før testen, ved 60 og 120 min og direkte etter endt test. Det ble utført en muskelbiopsi 15 min før og 120 min etter testen. Indirekte kalorimetri ble brukt underveis og etter testen for å estimere hvilemetabolismen til deltakerne. Etter endt test fikk deltakerne hvile og innta en ny shake, tilsvarende den de drakk før testen (8).

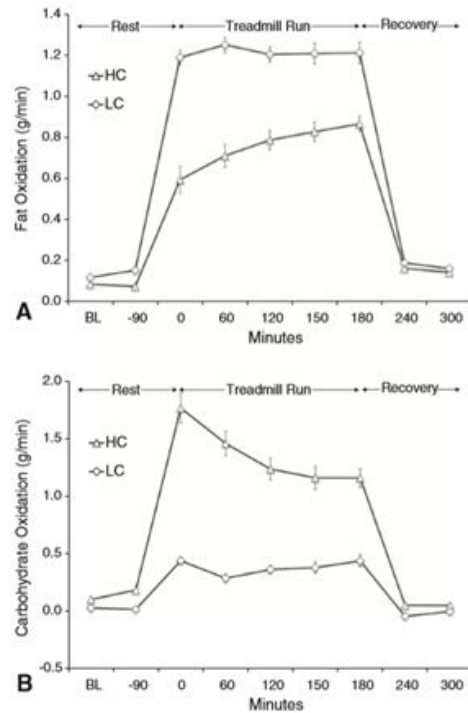
Resultater

Tabell 22: Resultater (8)

	HF-gruppen	HK-gruppen
Max fettsyreoksidasjonen, g/min	1,54 ± 0,18*	0.67 ± 0,14
VO ₂ ved max fettsyreoksidasjon, % av max	70,3 ± 6,3*	54,9 ± 7,8
Gjennomsnittlig fettsyreoksidasjon, g/min	1,21 ± 0,02*	0,76 ± 0,11
Fett som substrat, %	88 ± 2*	56 ± 8

* Signifikant forskjell fra HK-gruppen på samme tid, $P < 0,0005$.

Max fettsyreoksidasjon var 2,3 ganger høyere i HF-gruppen enn HK-gruppen, og inntraff ved en høyere prosent av VO₂max. Gjennomsnittlig fettsyreoksidasjon var 59% høyere i HF-gruppen. Alle disse målingene viste signifikante forskjeller mellom HF-gruppen og HK-gruppen under trening.

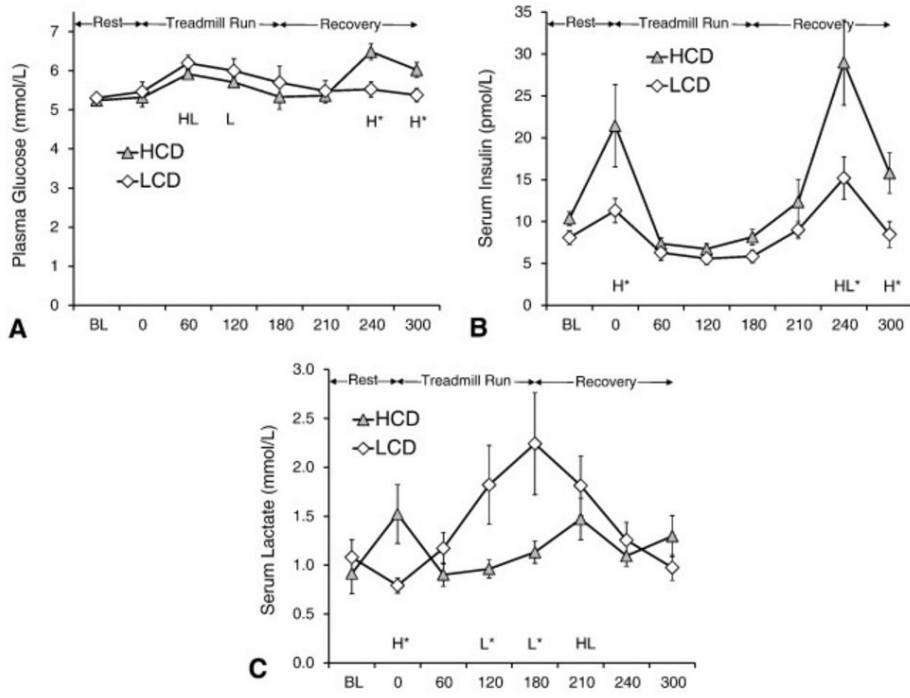


Figur 11: Fett- (A) og karbohydrat- (B) oksidasjon under løpetest på 64% av VO_{2max} i 180 min og 120 min restitusjon (C) (8).

HC = HK

LC = HF

På alle målepunkter var fett- og karbohydratoksidasjon signifikant forskjellig mellom de to gruppene. HF-gruppen hadde på alle punkter signifikant høyere fettoksidasjon, og signifikant lavere oksidasjon av karbohydrater. Ved endt test var glykogenlagrene redusert med 62 % hos HK-gruppen og 66 % i HF-gruppen, etter to timer var det fortsatt redusert med 38% i HK-gruppen og 34% i HF-gruppen.

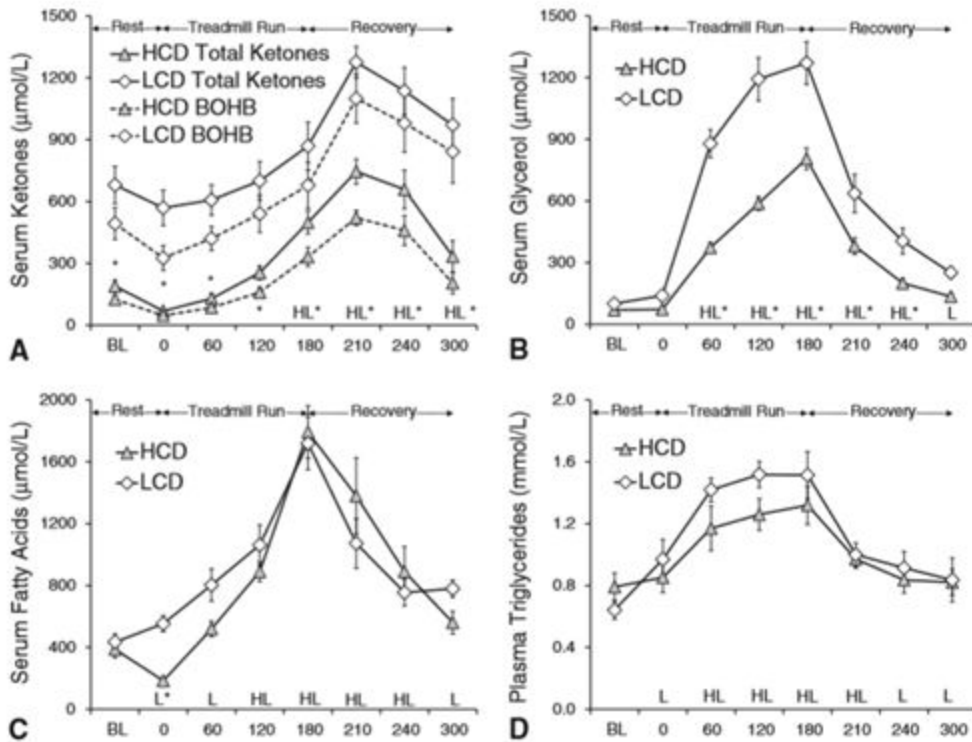


Figur 12: konsentrasjon av glukose, insulin og laktat i serum (8).

* Signifikant differanse mellom intervensjonene, $P = 0.0001$

HCD = HK

LCD = HF



Figur 13: Konsentrasjon av sirkulerende ketoner(A), glyserol (B), ikke-forestrede fettsyrer (C), og triglyserider (D) (8).

BOHB = betahydroksybutyrat (C).

HCD = HK

LCD = HF

* Signifikant differanse mellom intervensjonene, $P < 0.001$

I denne figuren indikerer A og B en høyere grad av ketogenese og lipolyse i HF-gruppen.

Hverken ikke-forestrede fettsyrer eller triglyserider var signifikant ulike mellom de to gruppene.

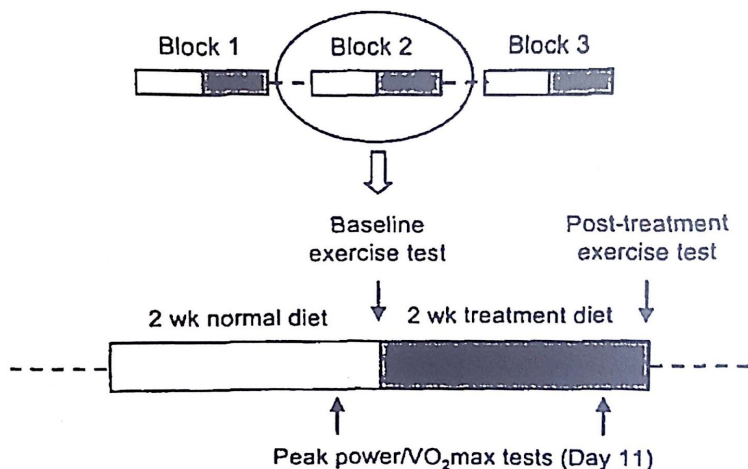
På grunnlag av at HF-gruppen hadde over to ganger så høy fettsyreoksidasjon som HK-gruppen, og at det ikke var signifikant forskjell i konsentrasjonen av glykogen i musklene, hverken under eller etter trening, konkluderes det med at deltakerne i HF-gruppen hadde en bedre evne til å utnytte fettsyrer som substrat ved trening med høy intensitet (8).

3.7 Studie 7 - Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling.

Rowlands DS, Hopkins WG. *Metabolisme - Clinical and Experimental*. 2002.

Hensikten med studien var å sammenligne effekten av en HF- og en HK-diett på metabolismen og prestasjonen til utholdenhetsutøvere (24). Utvalget bestod av syv mannlige syklister i alderen 22-32 år. Deltakerne hadde en gjennomsnittlig vekt på 74 kg, høyde på 178 cm og fettprosent på 8 %.

Deltakerne utførte tre runder med to-ukers adaptasjon til tre ulike dietter. Først en 14 dagers HK-diett bestående av 70 E% fra karbohydrater, 15 E% fra fett og 15 E% fra protein. Deretter en 14 dagers høfett diett med 70 E% fra fett, 15 E% fra protein og 15 E% fra karbohydrater. Til sist gjennomførte de 11,5 dagers høfett diett og 2,5 dagers superkompensasjon (HF+super). Mellom de forskjellige diettene gjennomførte deltakerne to uker med standardisert normalkost bestående av 50 E% fra karbohydrater, 35 E% fra fett og 15 E% fra protein. Dette fungerte som kontroldietten.



Figur 13: Design av studien (24). Det var to trinnvise testprosedyrer som ble utført i hver av testperiodene: en som testet toppkraft og VO₂max, og en som testet effekten på metabolismen og prestasjonen.

Det ble gjennomført en rekke tester før og etter hver av de tre testperiodene. Før hver test fikk deltakerne et måltid bestående av samme makrosammensetning som dietten de fulgte.

Sportsbarer med 14 g protein, 19 g karbohydrat og 6 g fett og sportsdrikk med 5% oppløst glukose ble inntatt i løpet av testene. Testene ble utført på ergometersykkel og det ble tatt blodprøver før og etter hver test.

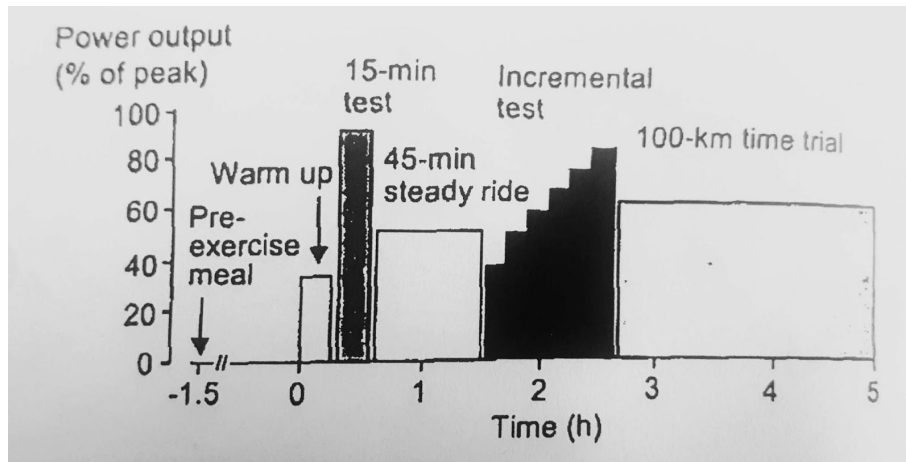
Toppkraft- og VO_2 max-testen startet med 10 min oppvarming med motstand på 100 W. Så ble motstanden økt med 50 W hvert 150. sekund til deltakerens puls oversteg 160 slag/min. Deretter ble motstand økt med 25 W hvert 150. sekund til deltakeren var utmattet eller tråkkfrekvensen falt med mer enn 20 o/min. Indirekte kalorimetri ble brukt for å måle VO_2 og VCO_2 .

Utholdenhetsprotokollen hadde en varighet på fem timer og besto av en 15 min test, en inkrementell test for å måle maksimal fettsyreoksidasjon og en 100 km tidstest. 90 min før teststart fikk deltakerne et måltid i samsvar med testdietten som inneholdt 42 kJ/kg kroppsvekt.

15-min test: Etter å ha varmet opp i 15 min på 35% av toppkraft og hvilt i 2 min, ble deltakerne bedt om å sykle så langt de klarte i løpet av 15 min. Etter testen ble deltakerne bedt om å fortsette å sykle i 45 min ved 50% av toppkraft, som restitusjon og som oppvarming for neste test.

Den inkrementelle bestod av 10 mins etapper på 37,5%, 48,75%, 60%, 67,5%, 75% og 82% av toppkraft. Indirekte kalorimetri ble brukt for å måle VO_2 og VCO_2 de tre siste min i hver etappe for å estimere substratbruk.

100 km tidstest: Deltakerne ble bedt om å sykle 100 km så raskt de klarte. Indirekte kalorimetri ble brukt for å måle VO_2 og VCO_2 ved 10 km, 30 km, 70 km, og 90 km.



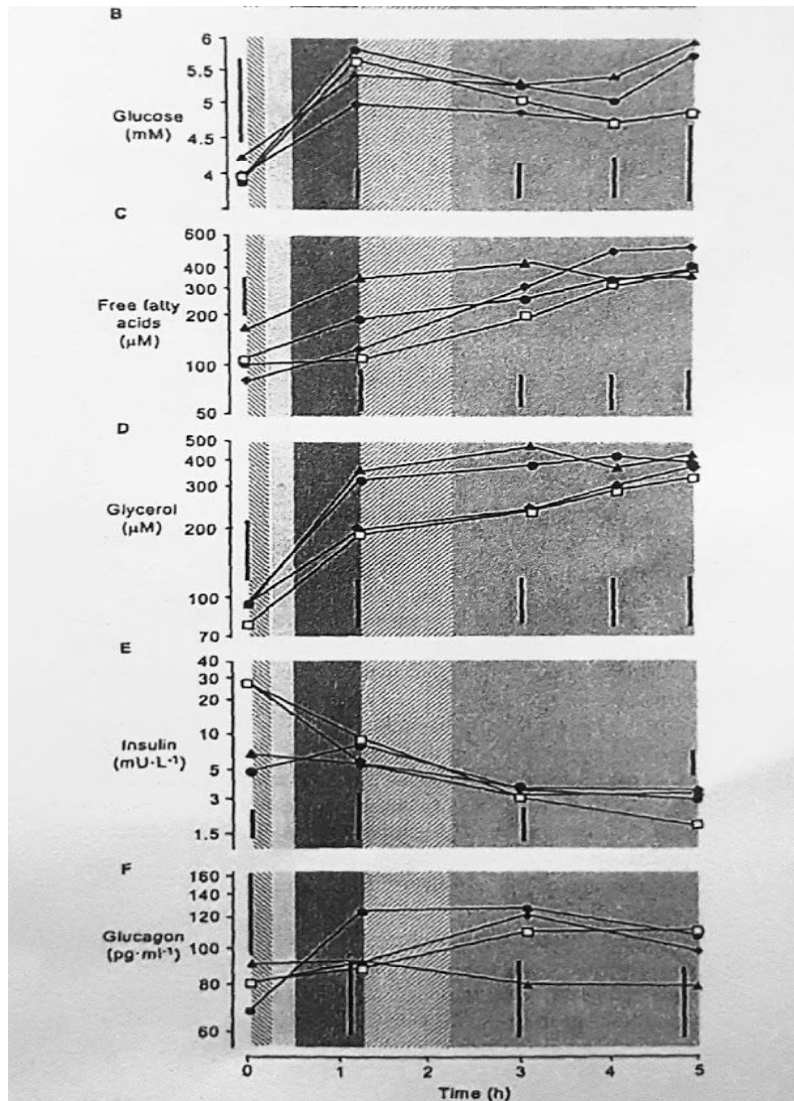
Figur 14: Utholdenhetstestprotokoll (24).

Blodprøver ble tatt fem min før testene, etter 45 min-etappen og etappetesten, ved 30 km, 70 km og ved avslutning av 100 km tidstesten. Det ble tatt kapillære blodprøver i løpet av de siste 30 sekundene i hver etappe av toppkraft- og VO_2 max-testen. Dette ble også gjort før, ved fem, ti og 15 min inn i 15 min-testen, i løpet av det siste minuttet av hver etappe i laktatprofiltesten, ved 10 km, 30 km, 70 km, 90 km og ved avslutning av 100 km tidstesten.

Resultater

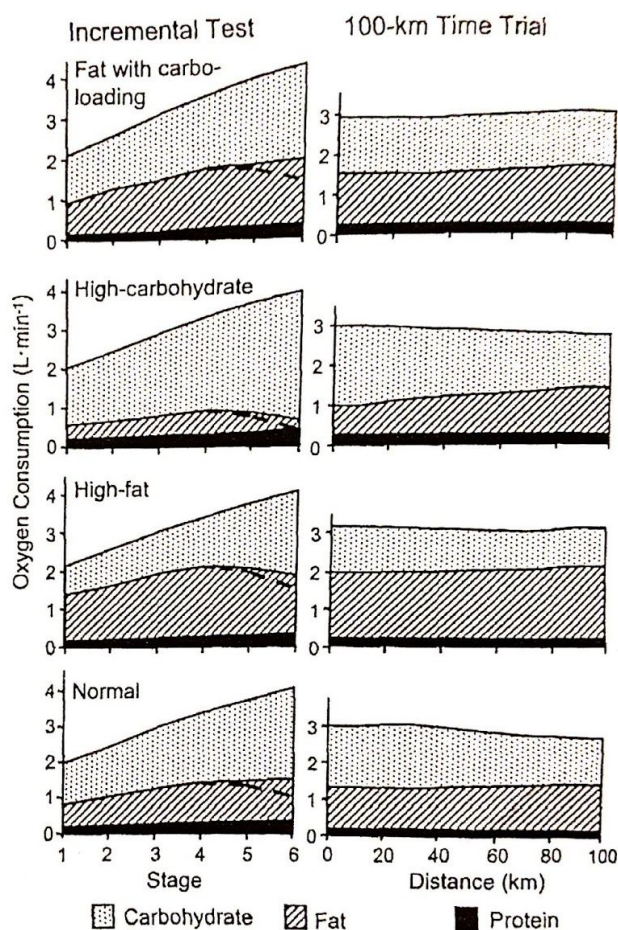
Tabell 23: Muskelglykogen (mmol/kg wet wt muscle) (24).

	Kontrolluke	HF uke 4
Før test	143 ± 10	76 ± 5
Etter test	53 ± 5	56 ± 4



Figur 15: glukose (B), FFA (C), glyserol (D), insulin (E) og glukagon (F), under utholdenhetstestprotokollen (24).

● HF+super, ◆ HK, ▲ HF, □ Normal
 ▨ Oppvarming ▩ 15 min test ■ 45 min test ▤ Laktatprofiltest ▧ 100 km test.



Figur 16: Fordelingen av protein-, karbohydrat- og fettoksidasjon under laktatprofiltesten og 100 km testen (24).

▨ Karbohydrat ▨ Fett ■ Protein

Tabell 24: Gjennomsnittlig fettsyreoksidasjon under den inkrementelle og 100 km testen (24).

	HF	HF+ super	normal	HK.
Oksidasjon	0,93g/min*	0,79g/min**	0,64g/min	0,32g/min
E%	49	38	33	19

* $P= 0,00001$, HF hadde en 2,9 ganger høyere fettsyreoksidasjon sammenlignet med HK.

** $P= 0,0001$, HF+S hadde en 2,5 ganger høyere fettoksidasjon sammenlignet med HK.

Nedgangen i karbohydrat oksidasjonen samt økningen i fettsyre oksidasjonen var størst etter adaptasjon til HF, effekten sank henholdsvis for HF+super, HK og normal dietten.

Tabell 25: Gjennomsnittlig RER (24).

	HF	HF+super	HK	Normal
RER	0,85	0,88	0,95	0,90

Tabell 26: 15 min test (24).

	HK	HF	HF+super
Distanse, kontroll (km)	11 ± 0,5	11 ± 0,4	11 ± 0,5
Distanse, effekt (%)	-0,9 ± 2	-1,8 ± 2	0,5 ± 2,1
Kraft, kontroll (W)	305 ± 40	310 ± 30	308 ± 38
Kraft, effekt (%)	-2,1 ± 4,3	-5 ± 4,1	-0,7 ± 4,3

Kontrolldataen er gjennomsnitt ± SD.

Effekt er differansen i prestasjonen etter kostintervensjonen, relativ til kontrolldataen.

Selv om man her ser en forskjell mellom de tre gruppene er det ingen av disse differansene som er signifikante.

Tabell 27: 100km test (24).

	HK	HF	HF+Super
Tid, kontroll (min)	156 ± 12	156 ± 13	155 ± 9
Tid, effekt (%)	1,6 ± 4,3	-2,5 ± 4,3	-1,8 ± 3,7
Kraft, kontroll (W)	217 ± 44	212 ± 40	223 ± 27
Kraft, effekt (%)	-4,5 ± 9	6,3 ± 12,9	3,4 ± 10,8

Kontrolldataen er gjennomsnitt ± SD.

Effekt er differansen i prestasjonen etter kostintervensjonen, relativ til kontrolldataen.

Tabell 28: Test av toppkraft (24).

	HK	HF
VO ₂ max, kontroll	5,2 ± 0,5	5,2 ± 0,5
VO ₂ max, effekt	-3 ± 6	0 ± 6
Toppkraft, kontroll (W)	381 ± 32	378 ± 39
Toppkraft, effekt (W)	1 ± 3	-1 ± 3
Laktat, kontroll (mmol/L)	7 ± 2	8 ± 2
Laktat, effekt (mmol/L)	-5 ± 41	-12 ± 41

Konklusjonen var at en to ukers adaptasjon til en HF-diett førte til en betydelig økning i fettzyreoksidasjonen under trening. Det var en liten økning i prestasjonen for HF-gruppen på 100 km testen, men den var ikke signifikante. Det så ut til å være en negativ effekt på prestasjonen ved høyintensitetstrening over kort tid, men resultatene her var heller ikke signifikante.

3.8 Studie 8 - High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading: effects on exercise metabolism and cycling performance.

Lambert EV, Goedecke JH, Zyle C, Murphy K, Hawley JA, Dennis SC, Noakes TD.

International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2001.

Hensikten med studien var å undersøke hvilken effekten en HF-diett har, sammenlignet med en «normal» diett, på metabolismen og sykkelprestasjon ved superkompensasjon (10). Studien ble gjennomført i Cape Town. Utvalget bestod av fem mannlige utholdenhetsutøvere i alderen 20-24 år.

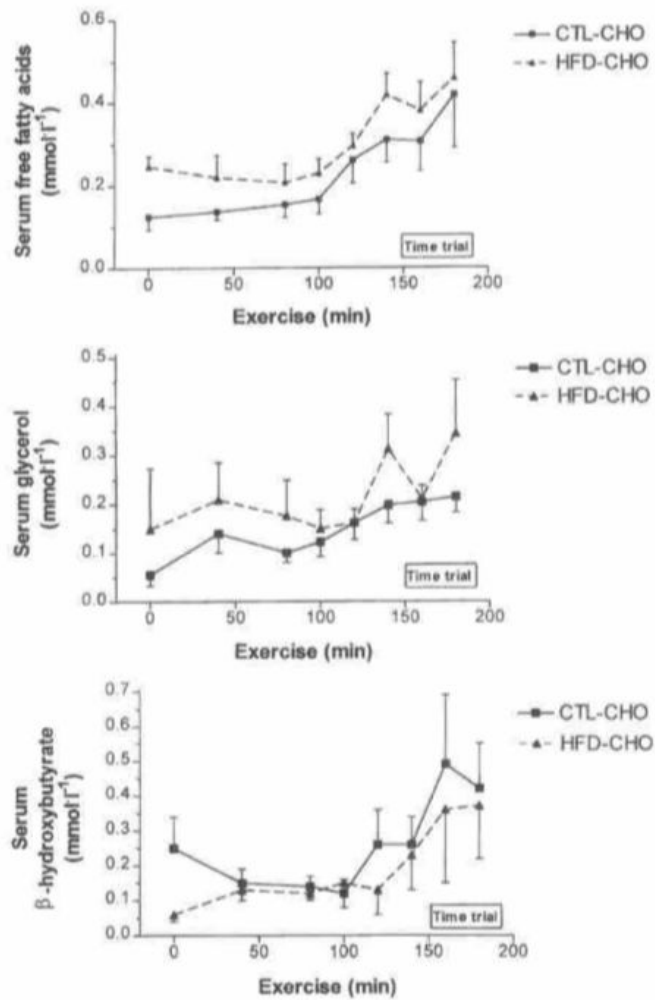
Deltagernes normale diett ble vurdert ved hjelp av en tredagers kostdagbok, bestående av to ukedager og en helgedag, der deltakerne veide og noterte all maten de spiste. Kostdagbøkene ble vurdert for å fastslå kalori- og makronæringsinnhold. Resultatet ble deretter brukt for å tilpasse en individuell høyfettdiett med tilsvarende kalorimengde. Deltakerne ble tilfeldig inndelt i to

grupper. En gruppe skulle følge en HF-diett med 65 E% fra fett, 20 E% fra protein og 15 E% fra karbohydrater (HF+super). Den andre gruppen skulle spise en normal diett med et gjennomsnitt av 29,9 E% fra fett, 12,8 E% fra protein, 52,6 E% fra karbohydrater og 2,1 E% fra alkohol. Deltakerne skulle følge diettene i 10 dager før de gikk over på tre dager med HK-diett med 70 E% fra karbohydrater, 15 E% fra fett og 20 E% fra protein.

For å samle informasjon om toppkraft og gassutveksling gjennomførte deltakerne en sykkeltest før videre testing. Den bestod av fem minutter oppvarming med en motstand på 100 W. Testen startet med en motstand på 3,33 W/kg i 150 sekunder. Motstanden ble så økt med 50 W de neste 150 sekundene. Deretter ble intensiteten økt med 25 W hvert 150. sekund til deltakerne fikk en reduksjon i tråkkfrekvensen på mer enn ti o/min og/eller en respiratorisk kvotient over 1,10.

Forsøket ble utført to ganger, mellom hver forsøksperiode var det to uker der deltakerne gikk tilbake til sine normale trenings- og kostvaner. For å teste resultatet av diettene var det to tester. En time før hver test, inntok deltakerne 400 ml med en blanding bestående av 3,44% løsning MCT og 0,86% løsning LCT. Underveis i testen fikk deltakerne 100 ml/10 min, med en blanding av 10% glukose og 3,44% MCT. Dette ble gitt for å optimalisere karbohydrat- og fettsyreoksidasjonen under treningen. Den første av de to testene var 150 min sykling på 70% av VO_2 max, utført på en ergometersykel, direkte etterfulgt av en 20 km TT-test, utført på deltakernes egen sykkel montert på en Kingcycle sykkelrulle. Blodprøver ble tatt under hvile før testene, ved 40, 80, 100, 120, 140 min under og ved 160 min, rett etter testene.

Resultater



Figur 17: Frie fettsyrer i serum, glyserol, og β -hydroxybutyrat-konsentrasjoner (10).

Frie fettsyrer i serum steg signifikant i begge grupper og var signifikant høyere etter 120 minutter enn de var i ved hvile ($P < 0,01$). Glycerolkonsentrasjonen var signifikant høyere i HF+super enn i HK-gruppen ($P < 0,05$).

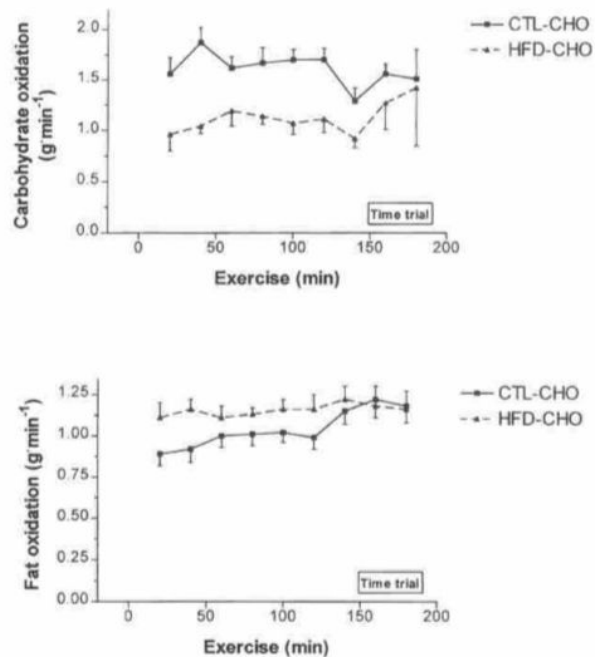
Tabell 29: Serumglukose (mmol/L) (10).

Serumglukose	Normal	HF+super
Ved test start (mmol/l)	~ 4,5	~ 4,5
Ved test slutt (mmol/l)	~ 4,5	~ 4,5

Det var ingen signifikante differanser i serumglukose. I samsvar med dette fant de ingen signifikante differanser i seruminsulin.

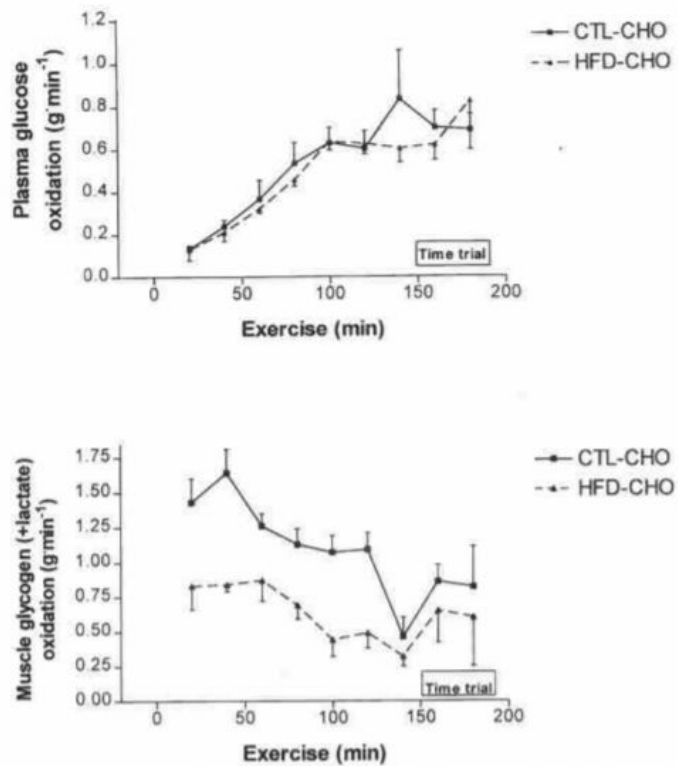
Tabell 30: Serumlaktat (mmol/L) (10).

Serumlaktat	Kontroll	HF+super
Ved test start (mmol/l)	~ 2	~ 2
Ved test slutt (mmol/l)	~ 4	~ 4



Figur 18: Karbohydrat- og fettoksidasjon under 150 minutter sykling og TT (10).

Raten av karbohydratoksidasjon var signifikant lavere ($P < 0,01$) hos HF+super, og raten av fettoksidasjon var signifikant høyere ($P < 0,05$) under disse testene.



Figur 19: Konsentrasjon av glukose i plasma og glykogen i muskel (10).

Oksidasjonene av muskelglykogen var signifikant lavere hos HF, under trening ($P < 0,05$).

Tabell 31: Serumtriglyserider (mmol/L) (10).

	HC	HF + super
Start	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2
Dag 5	1,21 ± 0,25	1,1 ± 0,23
Dag 10	1,44 ± 0,22	1,16 ± 0,27
Dag 13	1,07 ± 0,32	1,07 ± 0,17

Tabell 32: TT-testen på 20 km (10).

	HK	HF + super
Tid, min	30,68 ± 1,55	29,35 ± 1,25*

* Signifikant bedre tid enn HK, $P < 0,05$.

Studien konkluderte med at resultatene antyder at en kostindusert fettadaptasjon etterfulgt av superkompensasjon er assosiert med en forbedring i prestasjon ved en TT-test utført i etterkant av en lang utholdenhetsøkt. Dette tyder på at en periodevis kostholdsstrategi kan være gunstig for utholdenhetsprestasjon under langdistanse og at fettadaptasjon etterfulgt av superkompensasjon kan føre til langvarig adaptasjon og økt fetttsyreoksidasjon til og med ved høyintensitetstrening.

3.9 Studie 9 - Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to a high fat diet.

Lambert EV, Speechly DP, Dennis SC, Noakes TD. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1994.

Hensikten med studien var å undersøke effekten to uker med HF- eller HK-diett har på prestasjonen til utholdenhetsutøvere (25). Utvalget bestod av fem mannlige syklister i alderen 20-24 år. De hadde en gjennomsnittsvekt på 72,8 kg, en fettprosent på 11,9% og en VO_2 max på 4,2 ml/kg/min. Deltakerne syklet til vanlig et gjennomsnitt mellom 100-120 km hver uke. Deltakerne deltok i to runder med kostintervensjon der de ble tilfeldig fordelt i enten en HK-gruppe eller en HF-gruppe. HK-dietten bestod av 73,5 E% fra karbohydrater, 12 E% fra fett og 13,5 E% fra proteiner og HF-dietten bestod av 70 E% fra fett, 7 E% fra karbohydrater og 23 E% fra proteiner. Mellom testperiodene spiste deltakerne som vanlig i minimum to uker. Deltakerne ble bedt om å opprettholde sin normale treningsmengde under intervensjonen.

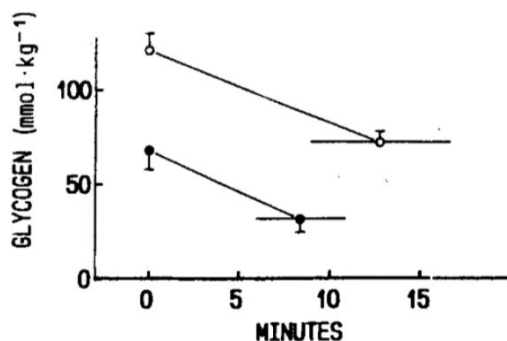
Alle tester ble utført tidlig uten å bryte nattfasten. Deltakerne ble veid og fettprosenten deres ble estimert på grunnlag av hudfoldmålinger. For å fastslå VO_2 max utførte deltakerne en progressiv treningstest utført på ergometersykkel. Deltakerne startet med motstand tilsvarende 3.3 W/kg, og

motstanden ble økt med 50 W etter 150 sekunder. Deretter ble motstanden økt med 25 W hvert 150. sekund til deltakerne var utmattet. Utmattelse ble antatt nådd når tråkkfrekvensen ble redusert med 10 %. Målinger av forbruk/produksjon av O₂ og CO₂ ble utført.

Deltakerne utførte også sprinter for å estimere maksimal tråkkhastighet og kontraksjonskraft i benmuskulene. Testen ble utført på ergometersykkel og bestod av intervaller på fem sekunder sprint og et min pause. De hadde en motstand på 19,6, 29,4, 49,0, 58,8 og 68,8 N i tilfeldig rekkefølge med maksimal tråkkfrekvens. Etter ti min pause gjennomførte deltakerne en 30 sekunders Wingate-test for å estimere muskelstyrke/anaerob kapasitet. Testen ble utført på ergometersykkel og deltakerne begynte med å varme opp i to min uten motstand. Deretter ble motstanden satt til 0,8 N/kg og de skulle trø så raskt de kunne i 30 sekunder.

Deltakerne hvilte i 30 min mens det ble tatt blodprøver. Deretter syklet de så lenge de orket med en intensitet tilsvarende 85% av toppkraft. Testen ble avsluttet når deltakerens tråkkhastighet sank med 10%. Mot slutten av testen ble det tatt blodprøver hvert femte min. Etter denne testen hvilte deltakerne i tjue minutter før de syklet til utmattelse på 50% av toppkraft. Før og etter ble det tatt blodprøver, og VO₂ og VCO₂ ble målt underveis.

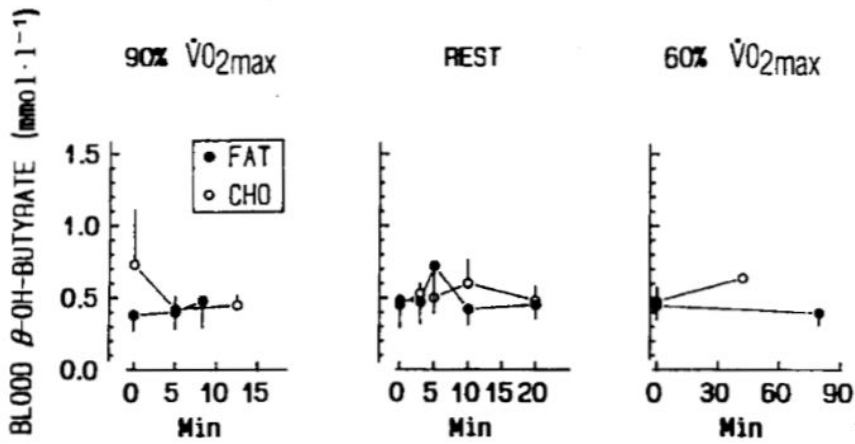
Resultater



Figur 20: konsentrasjon av muskelglykogen før og etter utholdenhetstesten (25).

● HF ○ HK Ved start var konsentrasjonen signifikant lavere hos HF, $P < 0,01$

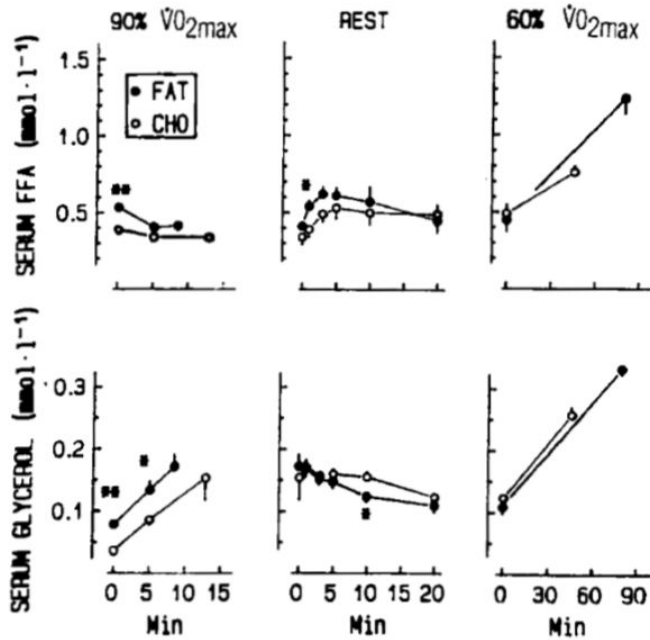
Konsentrasjonen sank jevnt hos begge, og HK var fortsatt signifikant lavere etter testen.



Figur 21: Konsentrasjon av betahydroksybuturat i plasma (25).

● HF ○ HK

Det var ingen signifikante differanser mellom intervensjonene.



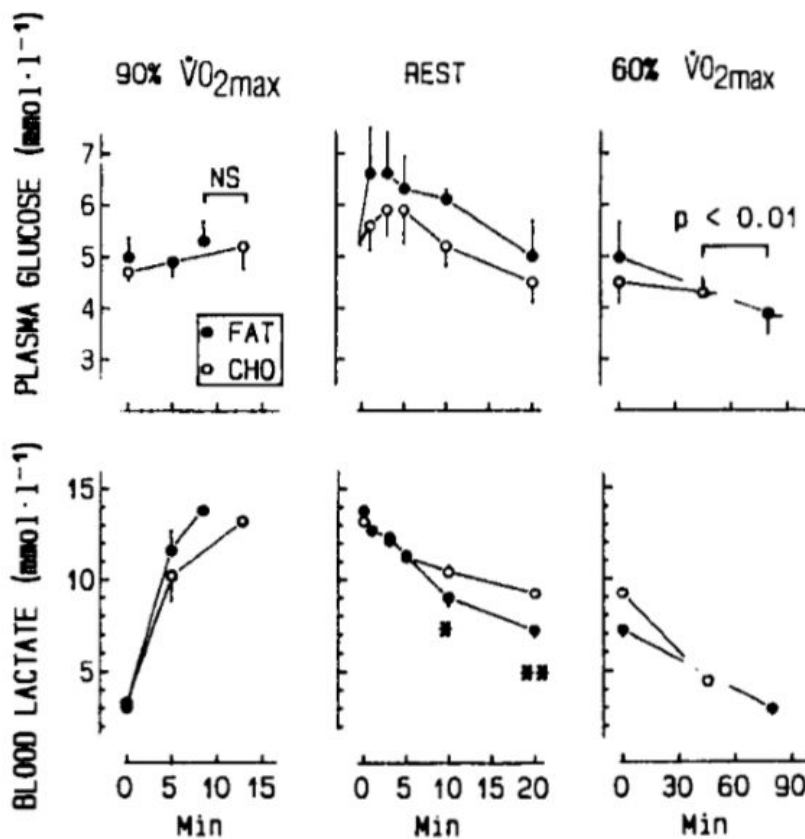
Figur 22: Konsentrasjon av FFA og glyserol i serum (25).

- HF
- HK

Signifikant differanse mellom intervensjonene, $P < 0,05/0,01$.

Konsentrasjonen av FFA i serum var signifikant høyere hos HF etter testen for muskelkraft og ved start av høyintensitetstesten, $P < 0,01$. Den steg igjen ved starten av restitusjonsperioden etter testen, $P < 0,05$.

Konsentrasjonen av glyserol var også signifikant høyere hos HF under høyintensitetstesten, $P < 0,01$. Under restitusjonsperioden sank konsentrasjonen hos HF og lå signifikant lavere enn HK, $P < 0,05$.



Figur 23: Konsentrasjon av glukose og laktat i serum (25).

- HF
- HK

Signifikant differanse mellom intervensjonene, $P < 0,01$.

Laktatkonsentrasjonen steg med over 10 mmol/l ved utmattelse hos begge gruppene, men gikk signifikant lavere hos HF under restitusjonsperioden.

Tabell 33: Estimert muskelstyrke og toppkraft (25).

	HF		HK	
	Gjennomsnitt	SEM	Gjennomsnitt	SEM
P ₀ (KP)	16,7	1,6	16,7	1,5
Toppkraft (W)	862	94	804	65

Det var ingen tydelig effekt av HF-dietten på muskelstyrken til deltakerne. Det var heller ingen signifikante forskjeller mellom gruppenes toppkraft.

Tabell 34: Effekt av intervensjon ved 85% av toppkraft (25).

	HF		HK	
	Gjennomsnitt	SEM	Gjennomsnitt	SEM
Tid til utmattelse (min)	8,3	2,3	12,5	3,8
Puls (slag/min)	186	3	181	2
Oksygenopptak (l/min)	3,62	0,27	3,63	0,39
Ventilasjon (l/min)	120,9	5,9	122,7	6,3
RER	1,07	0,04	1,15	0,03

Ingen av disse verdiene var signifikant forskjellige mellom gruppene på 85% av toppkraft.

Tabell 35: Effekt av intervensjon ved moderat intensitet (50% av toppkraft) (25).

	HF		HK	
	Gjennomsnitt	sem	Gjennomsnitt	sem
Tid til utmattelse (min)	79,7	7,6	42,5**	6,8
Puls (slag/min)	142	7	143	8
Oksygenopptak (l/min)	2,28	0,06	2,38	0,05
Ventilasjon (l/min)	50,4	1,5	59,2*	0,8
Karbohydratoksidasjon (g/min)	1,41	0,70	2,23	0,40
Fettoksidasjon (g/min)	0,60	0,12	0,32	0,07
RER	0,87	0,03	0,92*	0,02

* Signifikant forskjell fra HF, $P < 0,05$

** Signifikant forskjell fra HF, $P < 0,01$

Ved 50% av toppkraft var både ventilasjon og tid til utmattelse signifikant forskjellige mellom de to gruppene.

Resultatene ser ut til å vise at en to ukers adaptasjon til en HF-diett er tilstrekkelig til å endre fordelingen i substratbruken og spare de endogene karbohydratlagrene. Dette ser ut til å bedre prestasjonen ved submaksimal trening, til og med etter høyintensitetstrening, som delvis tømmer glykogenlagrene.

4 Kildekritikk

Som en del av vurderingen av resultatene er det viktig å se på kildene, og om disse er troverdige og solide kilder. Det er blant annet viktig å se på studienes design og metode, hvem som har gjennomført dem og hvor de er publisert for å vurdere resultatenes validitet.

4.1 Design

Alle studiene, utenom studie 6, er intervensjonsstudier. Dette er studier som gjennomfører en endring (intervensjon) for å teste en hypotese, og undersøke en årsakssammenheng (26). I disse tilfellene er det diettene som er intervensjonen. Utenom studie 6 er også alle studiene prospektive. Studie 6 er retrospektiv, noe som øker risikoen for recall bias (27), altså at deltakerne husker feil, for eksempel når de skal informere om tidligere matinntak. Det er en del forskjeller i varighet mellom de ulike studiene. Vi ønsket å se på forskjellen mellom korte og lengre fettadaptasjoner.

Det ble brukt randomisering i alle studiene, utenom studie 6, for å fordele deltakerne til dietter, noe som reduserer risikoen for feil. I studier med kostholdsintervensjoner er det vanskelig å blinde deltakerne, da de ser hva slags mat de inntar. Flere av studiene presiserer at forskerne som samlet inn data var blindet, mens andre sier ingenting om dette. En utfordring ved å sammenligne disse ulike studiene er at diettene ikke er likt sammensatt. Alle har sett på HF- og HK-dietter, men har ulike fordelinger av energiprosent. Det kunne blitt mer sammenlignbare resultater om diettene hadde vært likere.

Alle studiene vi har sett på har relativt små utvalg, fra fem deltakere i den minste studien til 20 i den største. Et større utvalg ville bidratt til å avdekke forskjeller som ikke kommer tydelig frem ved små utvalg (28). Et større utvalg vil også kunne påvirke signifikansnivået og gjøre konklusjonen sikrere. Utvalgene var relativt like, og med deltakere som vil være i målgruppen for de aktuelle kostholdsendingene. Nesten alle deltakerne var i tjuårene med vekt fra 70-80 kg og samtlige var utholdenhetsutøvere på høyt nivå. Resultatet av disse studiene vil derfor ikke

være representative for hverken den generelle befolkningen eller idrettsutøvere, men kun for en spesifikk gruppe; unge menn som driver med utholdenhetsidrett på et høyt nivå.

4.2 Dietter

Diettene i de fleste studiene er like våre definisjoner av HF og HK. Noen av studiene har noe høyere proteininnhold i HF-diettene enn vår definisjon, og det høyeste er 23 E% (8, 10, 20, 25). Dette kan gå ut over adaptasjonen til en høyfett-/ketogen diett ved å dempe ketogenese på grunn av økt omgjøring av aminosyrer til glukose via glukoneogenesen (16, 29). Et høyt proteininnhold vil også kunne føre til økte bivirkninger i starten av en slik diett (29). Dette inkluderer blant annet utmattelse, diaré og hodepine, som kan gå utover prestasjon (29, 30). Studie 5 og 8 har ikke en HK-diett, men bruker deltakernes normale diett som kontroldiett. Dette kunne vært en feilkilde, ettersom de har et betydelig lavere karbohydratinntak. Men i studie 7 ser vi at en tilsvarende diett er sammenlignet med en HK-diett, og at disse to gruppene er like på nesten alle målinger. Det eneste som skiller dem er glukosenivåer underveis i testingen, men både ved start og avslutning av testen har de like nivåer. Det kan se ut til at utholdenhetsutøveres normale diett har et høyt nok karbohydratinntak til å fylle glykogenlagrene, og at det noe lavere inntaket ikke påvirker prestasjonen deres.

De fleste studiene vi har sett på har beskrevet tester og dietter nøye, som gjør det enklere å kunne reproducere forsøket. Studie 5 er unntaket, der man må gå tilbake til tidligere artikler i artikkelserien for å få informasjon om metodene (22). De fleste studiene fulgte deltakernes matinntak nøye, for å være sikker på at de fulgte dietten, for å reduserer muligheten for feilkilder.

Det varierer hva de ulike studiene faktisk ønsker å undersøke. Flere bruker superkompensasjon for å fylle opp glykogenlagrene i etterkant av diettene for å teste den kombinerte effekten av en HF-diett og superkompensasjon (10, 14, 19). Noen av studiene brukte hverken superkompensasjon, noen form for glukose eller annen supplementering før eller under testene, dette for å teste hvordan dietten alene påvirket utøverne (8, 20, 21, 25). Det er to studier som

skiller seg litt ut; studie 5 og 7. Studie 5 undersøker kronisk ketose og studie 7 de varige endringene av en HF-diett (22, 24). Likevel gir begge studiene tilskudd av glukose, noe som ikke er i tråd med diettene. Dette kan svekke studienes validitet, gjøre at de ikke får målt det de har som hensikt å måle, som igjen kan påvirke resultatenes gyldighet (18). I studie 7 er dette riktignok bare under utholdenhetsprotokollen, ikke under test av toppkraft- og VO₂max.

4.3 Forskere og tidsskrifter

Det er flere forskernavn som går igjen i mange av studiene. Flere av de som er hovedforskere i flere forsøk har også hatt mindre roller i andre studier. Navn som går igjen mye er Burke, Hawley, Phinney, Noakes og Lambert. Alle disse er anerkjente forskere, som har spesialisert seg på temaene som forskes på her. De er basert på ulike steder, men innen et så spesifikt felt blir forskermiljøet fort lite. Dette kan påvirke resultatene ved at man vil prøve å produsere resultatene man ønsker, men det ser ikke ut til å være tilfellet ved disse studiene.

For å vurdere tidsskriftene studiene er publisert i har vi brukt Norsk senter for forskningsdata sin database for godkjente publiseringskanaler (31). Blant kriterier de har satt for godkjenning er at tidsskrifter skal ha rutiner for ekstern fagfellelvurdering og at de skal ha en vitenskapelig redaksjon bestående av forskere som jobber med primærforskning. Alle studiene vi har brukt er publisert i tidsskrifter godkjent under disse kriteriene. De er alle medisinske tidsskrifter med internasjonale forfatterkretser og rutiner for fagfellelvurdering. Alle tidsskriftene er godkjent på nivå 1, utenom *Medicine & Science in Sports & Exercise*, som er godkjent på nivå 2, som har enda høyere krav. Tidsskriften på nivå 2 er da blant de mest ledende, og en kanal som utgir de mest betydelige publikasjonene fra ulike land (31). Dette vil si at alle tidsskriftene som har publisert artiklene vi har brukt er troverdige kilder.

5. Diskusjon

5.1 Adaptasjon i metabolisme

Et innblikk i hva som skjer i metabolismen under intervensjonene er viktig for å forstå om eventuelle endringer i prestasjonen kommer av en adaptasjon til intervensjon eller om den er uavhengig av intervensjon. Det er også interessant for å finne eventuelle feilkilder, undersøke hvilke faktoren som korrelerer og har en effekt på prestasjon eller hemmer adaptasjon.

5.1.1 Oksidasjon

En av de viktigste faktorene i metabolsk sammenheng når det kommer til sannsynligheten for en økt prestasjon, er fordelingen i forbruk av substrater (1, 16). Et viktig funn er derfor at nesten alle studiene viste en tydelig økning i fettsyreoksidasjonen hos HF og HF+super sammenlignet med HK og normal (8, 10, 14, 19, 21, 22, 24, 25). Kort adaptasjonstid ser ikke ut til å minske effekten, med unntak av studie 3, der de ikke fant noen effekt på oksidasjonsfordelingen (14, 19, 20, 21). HF med korttidsadaptasjon klarte i studie 1 å oppnå en to ganger så høy fettsyreoksidasjon ved 70% av $VO_2\text{max}$ (14). En signifikant økning i fettsyreoksidasjonen ved submaksimal intensitet ser ut til å være normen (10, 14, 19, 22, 25). Studie 4 og 6 utmerket seg ved å vise til en signifikant økning i fettsyreoksidasjon ved en rekke intensiteter blant HF (8, 21). På tross av en økning i intensitet fra 65% til 85% av $VO_2\text{max}$, sank ikke fettsyreoksidasjonen hos HF i studie 4 (21). Dette antyder at deltakerne var godt egnet til å oksidere fett og kompensere for antatt lave glykogenlagre, også under høyintensitetstrening (16, 21). Den økte fettsyreoksidasjonen som kom av adaptasjon til HF vedvarte etter superkompensasjon, på tross av tilgjengelige karbohydrater (14, 19). I studie 1 steg den også med ytterligere 50% under SS sammenlignet med HK (14). Den økte fettsyreoksidasjonen ble assosiert med glykogensparing i musklene. Det er ikke klart om det var lignende resultater i den siste studien, med kort adaptasjonstid uten superkompensasjon eller tilskudd, da denne studien ikke utførte muskelbiopsier (21). I studie 2 var den totale karbohydratoksidasjonen kun 600 g og ca 20% kom direkte fra tilskuddet gitt under trening (19). Det er imponerende økninger i fettoksidasjon med tanke på at utvalget i studiene består av veltrente atleter som derfor allerede har en god evne til å

oksidere fett under trening (14). En økt fettsyreoksidasjon står i samsvar med en redusert karbohydratoksidasjon i de fleste studiene (8, 10, 14, 19, 21, 22, 25). I studie 5 falt glukoseoksidasjonen hele tre ganger så mye hos HF som hos HK, som kan tyde på en kraftig sparing av endogene karbohydratkilder (22). Studie 6 viste lignende resultater (8).

5.1.2 Glyserol

En økning av glyserol tyder på økt lipolyse, som igjen tyder på en økt bruk av fett som substrat (16). Serumglyserol er en bedre indikator for lipolyse av fettvev enn det FFA er, siden fettvev og skjelettmuskulatur har lavere glyserolkinaseaktivitet og derfor ikke utnytter glyserol like effektivt, men muskel kan bruke glyserol til intramuskulær triglyseridsyntese (16, 8). Studie 8 mener at den økte serumglyserolen kan relateres direkte til en økt bruk av triglyserider i muskel (10). Studie 1, 4, 5, 6, 7 og 8 viste også en økt plasmakonsentrasjon av glyserol i tillegg til økningen i fettsyreoksidasjon, uavhengig om de utførte superkompensasjon eller ikke (8,10, 14, 21, 22, 24).

I studie 4 var blodglyserolkonsentrasjonen høyere ved både 65% og 85% av VO_2 max hos HF (21). I studie 5 ble det estimert at deltakerne forbrant omtrent 950 kcal, omtrent 85% fra triglyserider, og derav 22 g glyserol i løpet av treningsøkten. Dette tilsvarer ca. 40% av glukosen forbrukt under treningsøkten.

5.1.3 Muskelglykogen

Tradisjonelt spiser idrettsutøvere en HK-diett og/eller bruker superkompensasjon for å fylle glykogenlagrene så mye som mulig for å oppnå best mulig prestasjon (1). Studie 1, 3, 5, 8 og 9, fant at en adaptasjon til HK-diett resulterte i en signifikant økt konsentrasjon i glykogenlagrene (10, 14, 20, 22, 25). Likeledes var det en reduksjon hos HF-gruppen før fysiske tester. Etter de fysiske testene var det varierende resultater. Studie 3 fant ingen signifikant differanse i glykogenlagrene etter utført test. Det var lignende resultater i studie 5 som fant at nivåene var like i begge gruppene etter trening, men at reduksjonen hos HK-gruppen var hele to tredjedeler

av startnivå mens HF-gruppen bare hadde en reduksjon på knapt en fjerdedel (22). Dette tyder på at gruppen med fettadaptasjon har oppnådd en grad av glykogensparing i musklene under fysisk aktivitet. Studie 1 utførte superkompensasjon som førte til at konsentrasjonen av muskelglykogen steg hos begge gruppene, men det sank hos HF-gruppen i løpet de 20 første minuttene av testen (SS) og ble liggende under HK-gruppen (14). Ved endt test var det derimot litt høyere hos HF-gruppen enn hos HK-gruppen. Resultatene fra studie 8 lignet studie 1, med høyest konsentrasjon hos HK. Her sank glykogenet jevnt hos begge grupper under utholdenhetstesten, men ved slutten, og før tidstesten, sank HK-gruppen signifikant i forhold til HF-gruppen og lå på samme nivå som HF på tross av superkompensasjon (10). I løpet av tidstesten steg nivåene igjen og HK-gruppen lå jevnt over HF-gruppen. Deltakerne i studie 8 fikk 100 ml sportsdrikk med glukose og MCT hvert tiende minutt. I studie 5 hadde gruppene ulikt utgangspunkt, men like stor reduksjon gjennom testen (22). Dette førte til at HF-gruppen sine lagre inneholdt like mye glykogen etter testen som det HF-gruppen sine lagre gjorde ved start. I to studier ble sparing i musklene sett på som en konsekvens av fettoksidasjonen, men det kan også være en effekt av lave glykogenlagre ved start (14). De ulike resultatene skyldes trolig ikke adaptasjonstid eller intervensjonsdietten, siden konsentrasjonen i glykogenlagrene var så like før de fysiske testene. Ulikhetene kan blant annet skyldes differanser i testprotokollene til de fysiske testene eller ulik grad av superkompensasjon.

5.1.4 Plasmanivåer

Ingen av studiene fant signifikante differanser mellom gruppenes plasmakonsentrasjoner av glukose etter kostintervensjonen, som er interessant (8, 10, 14, 19, 20, 21, 22, 24, 25). Og som forventet var det heller ingen signifikante differanser i plasmakonsentrasjonene av insulin (8, 10, 14, 19, 20, 21, 22, 25). Studie 7 skiller seg her ut ved å dokumentere et signifikant høyere nivå av plasmainsulin før trening hos gruppen med normaldiett og HK sammenlignet med HF og HF+super (24). Under trening sank nivåene slik at det ikke lenger var noen signifikante differanser. Stigningen av insulinivåene kan muligens forklares av måltidet deltakerne inntok før teststart. Normal og HK fikk måltider rikere på glukose enn de andre gruppene. Dette forklarer derimot ikke hvorfor de mangler en økning i glukosenivåene. En del av studiene fant

heller ikke signifikante differanser i glukosekonsentrasjonen i plasma ved fysisk aktivitet (10, 19, 20, 21, 25). Dette viser at på tross av en rekke forskjellige makrosammensetninger i kostintervensjonen, har kroppen en fantastisk tilpasningsevne og regulering av substrater. Dette ser vi ved at deltakerne har stabil tilgang til glukose ved hvile, og i noen tilfeller også ved moderat til høy intensitet. Studie 6 fant ingen signifikant økning i glukosekonsentrasjonen før eller under trening, men etter trening steg HK-gruppens konsentrasjoner signifikant (8). Her økte også insulinkonsentrasjonen hos HK-gruppen etter trening. Dette burde ikke regnes som relevant for vår studie da det trolig var på grunn av at restitusjonsmåltid HK-gruppen inntok inneholdt mye glukose sammenlignet med måltidet HF-gruppen fikk.

Noen av resultatene fra de forskjellige studiene er direkte motstridende. Studie 1 fant for eksempel at under 80-120 min med moderat intensitet (65% av $VO_2\text{max}$) førte til at glukosenivåene sank signifikant hos HK-gruppen sammenlignet med HF-gruppen (14). Nivåene forble også signifikant lavere etter testen. Studie 7 fant derimot at det var hos HK-gruppen nivåene sank fra første timen og utover (24). Normalkostgruppen lå også på et markant lavere nivå gjennom hele firetimers-testen.

Studie 5 fant signifikant høyere insulinnivåer hos HF-gruppen etter trening, og i studie 2 steg plasmakonsentrasjonen signifikant høyere hos HK gruppen 30-60 min ut i SS-testen (19, 22). Dette på tross av at det ikke var påvist noen signifikant økning i glukosenivåene på samme tidspunkt. Studie 3, 4 og 9 hadde ingen signifikante variasjoner i insulinkonsentrasjonene hverken før eller etter trening (20, 21 25). Studie 8 fant heller ikke var signifikante differanser (10).

De ulike studiene har varierende resultater når det kommer til plasmakonsentrasjonene av laktat. I studie 4 ser vi at HF-gruppen hadde en signifikant mindre stigning i laktatnivåene under høyintensitetsintervalltesten etter fire dager med intervensjon enn HK-gruppen (21). Studie 9 hadde lignende resultater hos HF, men de fant at konsentrasjonen sank signifikant først etter endt test (25). Studie 5 fant det motsatte, nemlig at nivåene sank markant hos HK etter trening

sammenlignet med HF (22). Studie 6 fant at før teststart steg laktatkonsentrasjonen signifikant hos HK-gruppen, samtidig som den sank hos HF-gruppen, og at det var signifikant høyere hos HF den siste timen med trening. Studie 7 fant at under 15min-testen var konsentrasjonen lavere hos HF enn den var hos normal og HK. Den var også litt lavere hos HF+super, men dette var ikke signifikant. Under laktatprofiltesten og 100 km testen var det ingen signifikante forskjeller i gruppene. Etter tidstesten var nivået økt hos HF+super sammenlignet med normal.

De store variasjonene i funnene kan muligens forklares med at konsentrasjonen i plasma ikke nødvendigvis representerer mengden brukt i kroppen. Dersom produksjon av et substrat oppreguleres samtidig som bruken oppreguleres, vil i teorien plasmanivåene forbli uendret. Dersom produksjonen oppreguleres, men bruken ikke øker vil konsentrasjonen i plasma øke, og motsatt.

5.1.5 Frie fettsyrer og ketoner

Studie 1, 7 og 9 viser at HF hadde økt FFA under testing sammenlignet med de andre gruppene (14, 24, 25). Konsentrasjonen var høyere hos studie 1 og 9 allerede ved start og holdt seg signifikant høyere 60 min inn i testen (14, 25). I studie 7 var ikke stigningen signifikant før etter 45 min (24). Konsentrasjonene jevnet seg ut i studie 1, og ved endt test var det ingen signifikante differanser, mens den fortsatt var signifikant høyere i studie 7 og 9 (14, 24, 25). Lignende resultater ble observert i studie 5, som fant at nivåene var signifikant høyere hos HF-gruppen etter trening (22). Studie 6 derimot, fant at nivåene var signifikant lavere hos HF-gruppen ved teststart, men jevnet seg ut i løpet av testen (8). Det var ingen signifikante differanser ved endt test. Studie 3 nevner ingen signifikante endringer i plasmanivåene av FFA, men rapporterer at plasmanivåene av triglyserider var signifikant høyere hos HK, både før og etter den fysiske testen, sammenlignet med HF (20).

Studie 5 og 6 fant signifikante differanser i hydroxybutyrat og de totale ketonnivåene mellom HF og HK, både før, under og etter de fysiske testene (8, 22). Den store ketonproduksjonene er et

godt tegn på adaptasjon til en HF-diett. Dette er det resultatet man kan forvente etter en godt gjennomført fettadaptasjon. Det er derfor vel så interessant at studie 8 og 9 ikke fant noen differanse i ketonnivåene under trening mellom intervensjonene (10, 25). Et interessant spørsmål vil være; kan man oppnå en fettadaptasjon uten en økning i produksjon og konsentrasjonen av ketoner i kroppen? Det kan tenkes at studiene som ikke fant en endring har et oppregulert forbruk og derfor ikke viser en økning i konsentrasjoner i plasma.

5.1.6 Oppsummering

De fleste studiene viste en tydelig metabolsk adaptasjon til HF via en økt fettsyreoksidasjon og nedsatt karbohydratoksidasjon. I samsvar med dette viste flere en økning i konsentrasjonen av serumglyserol og dermed økt lipolyse. Det var variasjoner i nivåene av muskelglykogen. Flere studier konkluderte med at det ikke var noen korrelasjon mellom mengden muskelglykogen og prestasjon hos HF eller HF+super. Resultatene fra plasmasubstrater var derimot veldig forskjellige, og ofte motstridende. Det var lite fokus på rollen ketoner spiller i fettadaptasjon. Bare fire studier nevnte ketonnivåer og bare to studier rapporterte en endring.

5.2 Adaptasjon og prestasjon

Det er ulike resultater i de forskjellige studiene, og å sammenligne dem kan tydeliggjøre de ulike sammenhengene mellom design, diett og prestasjon. Det vil også være viktig å se på korrelasjon mellom ulike faktorer, forklaringer og feilkilder.

5.2.1 Endringer i prestasjon

Det var kun to studier som hadde en signifikant forbedret tid for noen av deltakerne. Studie 8 viste signifikant bedre resultater for HF+super, enn hos HK-gruppen (10). Denne gruppen hadde signifikant bedre tid enn HK-gruppen i samme studie, med TT-test gjennomført på 29,35 min mot 30,68 min. Denne forbedringen ble assosiert med muskelglykogensparing, som vi også så i studie 5. Studie 5 hadde ingen signifikante resultater, men konkluderte med at en HF-diett ikke hadde noen negative effekter på prestasjon (22).

Studie 9, der deltakerne fulgte diettene i to uker, hadde også en signifikant forbedring knyttet til prestasjon (25). Etter HF-dietten hadde deltakerne en signifikant økt tid til utmattelse, fra 43,5 min til 79,7 min. Det blir foreslått at en del av forklaringen er at musklene lagrer en større mengde triglyserider, og at musklenes mitokondrier får en økt kapasitet for fettoksidasjon. I tillegg til dette foreslås det at endringene som følger med en fettadaptasjon vil være mer sannsynlig å ha en tydelig effekt ved tomme glykogenlagre, og at utmattelsen som kommer av dette blir redusert hos individer som er tilpasset en høyere fettoksidasjon.

Studie 7 hadde ingen signifikante resultater, men viste noen forskjeller mellom de tre gruppene, HK, HF og HF+super (24). På korte tester dekket HF+super en økt distanse sammenlignet med HK-gruppen og HF-gruppen uten superkompensasjon. Under testen på 100 km hadde HF-gruppen en økt kraft. Her kom HK-gruppen bedre ut når det kom til tid, som eneste gruppen med en forbedret tid sammenlignet med kontrolluken. Mangel på signifikante resultater kan muligens ha sammenheng med det begrensede utvalget forsøket hadde. Et større utvalg kunne gitt et smalere konfidensintervall og resultert i signifikante resultater. Det kan også være at resultater av slike dietter vil påvirke enkeltpersoner på ulike måter, noe som bør undersøkes videre og med større utvalg. Dette så vi også i studie 2, at noen utøvere som påvirkes ulikt fra resten av gruppen, og bør inkluderes i en større undersøkelse.

5.2.2 Lengde og intensitet

Studiene vi har sett på har varierende lengde på diettene. Utenom studie 6, som har et snitt på 20 måneder, varierer de andre studiene fra tre dager til fire uker på diett. De studiene med signifikante resultater, studie 8 og 9, er omtrent like i varighet med 13 og 14 dager (10, 25). I begge disse studiene er det HF-gruppene som presterer best. I studie 8 har HF-gruppen superkompensasjon, mens i studie 9 har de ingen tilskudd. Det ser ikke ut som det er en korrelasjon mellom varighet og prestasjon, da hverken studie 5 eller 7 har tilsvarende resultater (22, 24).

Studie 1-3 går over kort tid, og ingen av disse studiene har signifikante resultater, men både studie 1 og 2 har resultater som vil være av betydning for en utholdenhetsutøver, nemlig en prosentvis forbedring i tid (14, 19). Studie 2 viste en 4% forbedring i tid i HF+super (19). Dette er ikke en signifikant forskjell i forskningssammenheng, men kan ha betydning for en langdistanseutøver. Studie 1 hadde to deltakere i HF som utmerket seg tydelig og de hadde alene signifikant bedre tid enn deltakerne i HK-gruppen (14). Medregnet disse to hadde HF-gruppen en 8% bedre tid, som ikke er signifikant, men kan være viktig over lengre distanser. For en langdistanseutøver som har en tid på 1 time og 42 minutter vil en forbedring på 8% gi en ny tid på 1 time og 34 minutter. Dette kan være helt avgjørende i et løp. Regner man uten disse to er forskjellen mellom gruppene kun 0,8%. I de resterende studiene, studie 4 og 6, er ikke prestasjon målt (8, 21).

En annen faktor verdt å legge merke til er forskjellen i testprotokoll. De fleste studiene har hatt flere tester, med ulike intensiteter (8, 10, 14, 19, 22, 24, 25). Studie 3 og 4 skiller seg ut ved at de kun har tester med høy intensitet for å se på prestasjon, henholdsvis 82% og 86% av $VO_2\max$ (20, 21). Studie 3 fant ingen signifikante forskjeller mellom gruppene, mens studie 4 som nevnt ikke målte prestasjon.

5.2.3 Utmattelse

Tre av studiene hadde fokus på utmattelse under fysisk aktivitet (21, 22, 25). Under studie 4 fulgte deltakerne diettene i 3 dager, og de som fulgte HF-dietten hadde en økt følelse av utmattelse under alle typer fysisk aktivitet (21). Til tross for dette gjennomførte alle deltakere trening og tester, og fokuset ble på opprettholdelsen av aktivitet med høy intensitet, til tross for en økt utmattelse. Studie 5, der deltakerne fulgte diettene i fire uker, viste en økt tid til utmattelse under fysisk aktivitet (22). Denne forskjellen var ikke signifikant. En foreslått forklaring på dette er muskelglykogensparingen som oppstod under testene. En mulig forklaring på forskjellen i disse to studiene at det er en korrelasjon mellom tid på dietten og følelsen av utmattelse, noe som vi kommer mer inn på snart. Men ser man på studie 3 så hadde ikke deltakerne i HF-gruppen her noen økt følelse av utmattelse, til tross for tilsvarende lengde på tilsvarende diett.

Utmattelse er en vanlig bivirkning ved adaptasjon til en høyfett-/ketogen diett (29). For å bli fullstendig adaptert til en slik diett er det nødvendig å opprettholde den i mer enn en uke. Går man på en høyfett diett i to uker vil altså bare andre uke være symptomfri. I første uken er det vanlig å oppleve symptomer som dehydrering, diaré, hodepine, hypoglykemi, utmattelse og oppkast (29, 30). Dette vil normalt gå over etter den første uken, men kan være en del av forklaringen på symptomene utøverne i ulike studier opplevde (21, 22, 25). Andre bivirkninger av høyfett dietter kan være ulike mangler, blant annet av magnesium, natrium og kalium (29, 30). Derfor kan det være viktig med tilskudd for en optimal mikronæringsstoffbalanse. Dette er det kun én av studiene vi har sett på som har gjort (22). For å bli adaptert til en høyfett diett er det også viktig å være oppmerksom på mengden karbohydrater man inntar (29). For høyt inntak av karbohydrater vil forsinke adaptasjonen, i tillegg til at det vil nedsette toleransen for fysisk aktivitet og føre til økt utmattelse. Proteininntaket er også viktig å balansere; for lite vil gå ut over fysisk prestasjonsevne, mens for mye vil føre til nedsatt ketogenese, hodepine og matthet.

5.2.4 Oppsummering

Det er altså vanskelig å fastslå hvordan en HF-diett påvirker prestasjon ut i fra disse studiene. Det var kun to av studiene som rapporterte om signifikante resultater, studie 8 og 9 (10, 25). Studie 1 og 2 hadde ingen signifikante resultater, men viste en forbedring i tid hos HF-gruppene som kan være viktig for enkelte utøvere. I studie 4 var det tydelig økt utmattelse hos HF, men her var det ikke målt prestasjon (21). Det var det heller ikke i studie 6 (8). Studie 5 og 7 hadde ingen signifikante prestasjonsforskjeller (22, 24).

5.3 Vurdering av resultater

5.3.1 Viktigste observasjon

Ut i fra studiene vi har sett på vises det en tydelig metabolsk adaptasjon hos idrettsutøvere etter en HF-diett (8, 10, 14, 19, 21, 22, 24, 25). Denne adaptasjonen vises ved økt fettsyreoksidasjon og økte konsentrasjoner av glyserol i plasma, samt at i noen studier ser det ut til å være en tydelig

glykogensparing i musklene. Dette kunne man forventet også ville gi en forbedring i prestasjon i samme gruppe, men det ser ikke ut til å være noen tydelig korrelasjon.

5.3.2 Økt prestasjon, signifikant

To studier, 8 og 9, har en signifikant økning i prestasjon hos HF under utholdenhetstesten (10, 25). Begge to har relativt lang adaptasjonstid, 10 og 14 dager. Innholdet i diettene er relativt likt, bortsett fra at studie 8 er litt lavere på fett og noe høyere på karbohydrater, som muligens kan ha hatt en negativ effekt på prestasjonen. Videre ser vi at de har ulik protokoll for testing av utholdenhet og intensitet, blant annet ved å teste disse i motsatt rekkefølge. I studie 9 gjennomførte deltakerne høyintensitetstesten først, glykogenlagrene ble dermed tømt og dette ser ut til å ha hatt en positiv effekt på prestasjonen (25). Det var noen teorier om at det muligens skjedde en metabolsk adaptasjon i mitokondriene i musklene, og dermed fikk de en økt evne til å lagre og oksidere triglyserider. Studie 8 utførte utholdenhetstesten først, og ga i tillegg supplement av glukose i stedet for å tømme glykogenlagrene (10). Når vi sammenligner disse to studiene ser vi at på tross av at begge hadde en økning i prestasjon var det stor uoverenstemmelse i studiedesignet. Det er derfor vanskelig å finne noen korrelasjon mellom metode og prestasjon. Lang adaptasjon ser ut til å være en av de få fellesnevnerne (10, 25). Dette ser ut til å gi bedre prestasjon som følge av en mer stabil metabolisme.

Noen studier jobber ut ifra teorien om at en opprettholdelse av glykogenlagrene sammen med en økt fettsyreoksidasjon vil gi de beste forutsetningene for en økt prestasjon (10). Andre studier ser ut til å mene at en tømning av glykogenlagrene vil føre til en optimalisert utnyttelsen av fettlagrene og dermed øke prestasjonen (21, 25). Begge teoriene, på tross av differansene, ser ut til å kunne gi en positiv effekt. Det er dessverre lite korrelasjon mellom resultatene innad i studiene som støtter samme teori. Videre tolking er derfor nødvendig for å sile ut variablene som hemmer og/eller fremmer adaptasjonen.

5.3.3 Økt prestasjon, ikke signifikant

Studie 1 og 2 viser også en forbedring i prestasjon hos HF-gruppene, dog ikke signifikant (14, 19). Deltakerne i studie 1 utførte testene uten å bryte nattfasten (14). Dette vil i teorien sørge for laverer konsentrasjoner av glukose og glykogen, og muligens gi en lignende effekt som tømningen av lagrene i studie 9. I kontrast fikk deltakere i studie 2 både et måltid før trening og supplement under treningen, og minner derfor mer om studie 8 (19). Noe studie 1, 2 og 8 har til felles er at de utførte superkompensasjon dagene før de fysiske testene ble utført (10, 14, 19). Hovedforskjellen mellom, studie 8 og 9, og studie, 1 og 2, er at studie 1 og 2 har kort adaptasjon.

Etablert protokoll i dag er å spise en høykarbodiett og deretter fylle opp glykogenlagrene via superkompensasjon før konkurranser (1). Ut i fra studiene ser vi at dersom dette blir brukt sammen med en høyfettdiett kan dette ha en av to effekter. Dersom superkompensasjon blir brukt sammen med utøvere med en kortere, ufullstendige adaptasjon, som i studie 1 og 2, ser det ut til å kunne ha en positiv effekt (14, 19). Dette kan være på grunn av en manglende adaptasjon, og at deltakerne derfor har ekstra behov for glukose for å kompensere for at de ikke ennå fullt ut kan utnytte den oppregulerte fettoksidasjonen. Superkompensasjonen ser dermed ut til å hindre de negative effektene assosiert med en delvis adaptasjon, som tidligere beskrevet. Om den derimot blir brukt av godt adapterte utøvere som i studie 7, så det ut til å kunne ha en hemmende effekt på prestasjon (24). Det kan tenkes at ved en fullstendig fettadaptasjon vil superkompensasjon føre til en økning i insulinkonsentrasjonen, og dermed en hemming av lipolysen og kroppens evne til å bruke fettlagrene som energi.

En mulig måte å unngå dette ser ut til å være en gjevn supplementering underveis i treningsøkten (19, 24). Supplementering av glukose under trening ser ut til å kunne omgå de negative effektene som assosieres med superkompensasjon, ved at du får tilskudd av glukose som avlaster fettoksidasjonen uten at lipolysen blir skrudd ned. Dette er på grunn av at det er en lav nok konsentrasjon til at kroppen rekker å bruke den opp underveis, i stedet for å lagre det. Dersom supplementering av karbohydrater overstiger kroppens maksimale rate for eksogen

karbohydratoksidasjon vil lipolysen bli nedregulert (16). Spesielt ved langkjøring for å tømme glykogenlagre, vil effekten bli redusert dersom konsentrasjon av glukose for høy. Studie 1 og 5 fikk intravenøst glukose under utholdenhetstesten, men mengdene kan ha vært så små at det ikke ga noe utslag (14, 22).

5.3.4 Uoverenstemmelser

Studie 8 rapporterte at de målte, men ikke fant noen endringer av, serumnivå av ketoner (10). Den samme studien ga supplement av LCT og MCT. MCT er assosiert med hurtig dannelse av ketoner, til og med for glukosebasert kost (16). På dette grunnlaget virker det usannsynlig at de ikke hadde en oppregulert produksjon av ketoner. En forklaringen på dette kan være at det var likeledes oppregulert forbruk av ketoner, og dermed en stabil serumkonsentrasjon.

To studier som er relativt like i design er studie 3 og 4. En viktig forskjell her er at studie 4 ikke måler prestasjon. På grunn av den store metabolske adaptasjonen de har i studie 4 i forhold til studie 3. Ville det vært interessant å se om de fikk en økning i prestasjon tilsvarende endringene i metabolismen eller ikke dersom de hadde gjort disse målingene.

Studien som hadde treningsprotokoll mest lik studie 9 var studie 7. men det var lite korrelasjon i resultatene. Der studie 9 hadde økt prestasjon hadde 7 økt kraft, med noe dårligere tid.

Supplementet studie 7 fikk under utholdenhetstesten ligger helt i øvre grense av kroppens maksimale rate for eksogen karbohydratoksidasjon, og kan derfor være en del av forklaringen på at de kun hadde en ikke-signifikant effekt på kraft, og ingen på tid under 100 km test.

5.3.5 Potensiale

For idrettsutøvere er riktig ernæring helt avgjørende for deres prestasjonsnivå (1). Om man kunne endret diett på en måte som førte til en mulighet for å utnytte kroppens energilagre ytterligere vil dette kunne endre en rekke utholdenhetsidretter drastisk. Studiene vi har sett på her har ikke gitt entydige resultater når det kommer til forbedring av prestasjon, og det kan se ut til at begge protokollene, HK og HF, fungerer omtrent like godt (8, 10, 14, 19, 20, 21, 22, 24, 25).

Likevel kan det virke som det er indikasjoner på at det kan være en mulighet for forbedring ved

en litt lengre periode på høyfettdiett (10, 22, 25). Det kan se ut til at spesielt noen individer, med anlegg for fettadaptasjon, vil kunne ha spesielt god nytte av en slik diett. De forskjellige studiene er enige om at de metabolske prosessene ikke er godt nok kartlagt når det kommer til høyfett og ketose, og effekten dette kan ha på prestasjon. De vet ikke hvorfor en så tydelig metabolsk adaptasjon ikke blir til bedre prestasjon. Det vil være interessant å følge videre forskning på dette temaet, og studiene vi har sett på her vil kunne bidra med viktig bakgrunn for videre forskning.

5.3.6 Videre forskning

Basert på disse resultatene ser vi at det kan være indikasjoner på at en HF-diett kan øke prestasjon hos idrettsutøvere i noen sammenhenger (10, 25). Det er derfor ønskelig med mer forskning på dette feltet. De studiene vi har sett på har for ulike resultater til å trekke en tydelig konklusjon. De har for små utvalg, eksperimentelle protokoller og generelt store variasjoner i design. De har også ulike sammensetninger av dietter. Siden dette er et ganske nytt område innen idrettsernæring er det ikke utviklet en standard og det bør brukes mer tid på å forske på denne type diett for å finne en fremgangsmåte som fungerer optimalt, for så å se om dette er noe som kan konkurrere med dagens standardiserte HK-diett.

6. Konklusjon

I denne bacheloroppgaven har vi sett på hvordan dietten til utholdenhetsutøvere påvirker deres metabolisme og prestasjon under konkurranser. Problemstillingen vår er: “Hvilken effekt har en høyfettdiett, sammenlignet med en høykarbodiett, på metabolisme og prestasjon hos utholdenhetsutøvere?”.

Alle studiene viser en tydelig metabolsk adaptasjon ved HF-dietter. På tross av dette ser det ikke ut til at det noen signifikant differanse i effekten en HF-diett har på prestasjonen, sammenlignet med en HK-diett.

Referanser

1. Garthe I, Helle C. Idrettsernæring. 1. Utgave. Norge: Gyldendal; 2011. 247 s.
2. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol*. 1984 apr;56(4):831-8.
3. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*. 1993 sep;265(3 pt 1):E380-91.
4. Hawley JA, Schabort EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-Loading and Exercise Performance. *Sports Med*. 1997 Aug;24(2):73-81.
5. Burke LM, Hawley JA. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Sep;34(9):1492-8.
6. Bussau VA, Fairchild TJ, Rao A, Steele P, Fournier PA. Carbohydrate loading in human muscle: an improved 1 day protocol. *Eur J Appl Physiol*. 2002 Jul;87(3):290-5.
7. Wright DA, Sherman WM, Dernbach AR. Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *J Appl Physiol*. 1991 Sep;71(3):1082-8.
8. Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016 Mar;65(3):100–110.
9. Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016 Mar;65(3):100–110.
10. Lambert EV, Goedecke JH, Van zyl C, et al. High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading: effects on exercise metabolism and cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001 Jun;11(2):209–225.

11. Vogt M, Puntchart A, Howald H, Mueller B, Mannhart C, Gfeller-Tuescher L, Mullis P, Hoppeler H. Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Jun;35(6):952-60.
12. Knechtle B, Wirth A, Knechtle P, Rosemann T, Rüst CA, Bescós R. A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutr Hosp.* 2011 Nov-Dec;26(6):1420-7.
13. Drevon CA, Blomhoff R. *Mat og medisin: lærebok i generell og klinisk ernæring.* 6.utg. Kristiansand: Cappelen Damm Høyskoleforlaget; 2012. 540 s.
14. Burke LM, Angus DJ, Cox GR, Cummings NK, Febbraio MA, Gawthorn K, Hawley JA, Minehan M, Martin DT, Hargreaves M. Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling. *J Appl Physiol* (1985). 2000 Dec;89(6):2413-21.
15. Sand O, Sjaastad ØV, Haug E, Bjålie JG. *Menneskekroppen: Fysiologi og anatomi.* 2 utg. Oslo: Gyldendal Akademisk; 2014. 543 s.
16. Ferrier DR. *Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry.* 6. utg. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2004. 552 s.
17. Befring E. *Forskningsmetode: med etikk og statistikk.* 2. Utg. Norge: Det Norske Samlaget; 2002. 240 s.
18. Forsberg C, Wengström Y. *Att göra systematiska litteraturstudier: Värdering, analys och presentation av omvårdnadsforskning.* 2. Utg. Stockholm: Forfattarna och Bokförlaget Natur och Kultur; 2008. 216 s.
19. Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Stepto NK, Nikolopoulos V, Burke LM, Hawley JA. Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2001 Jul;91(1):115-22.
20. Kavouras SA, Troup JP, Berning JR. The Influence of Low Versus High Carbohydrate Diet on a 45-min Strenuous Cycling Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004 Feb;14(1):62-72.

21. Stepto NK, Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Burke LM, Hawley JA. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Mar;34(3):449-55.
22. Phinney SD, Bistrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism.* 1983 Aug;32(8):769-76.
23. Phinney SD, Bistrian BR, Wolfe RR, Blackburn GL. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: physical and biochemical adaptation. *Metabolism.* 1983 Aug;32(8):757-68.
24. Rowlands DS, Hopkins WG. Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling. *Metabolism.* 2002 Jun;51(6):678-90.
25. Lambert EV, Speechly DP, Dennis SC, Noakes TD. Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to a high fat diet. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994 Apr;69(4):287-93.
26. Braut GS. Intervensjonsstudie [Internett]. Store Norske Leksikon; [hentet 2017-04-08]. Tilgjengelig fra <https://snl.no/intervensjonsstudie>
27. Thomas JR, Nelson JK, Silverman SJ. *Research Methods in Physical Activity.* 7. utg. Storbritannia: Human Kinetics; 2015. 479 s.
28. Røislien J, Frøslie KF. *Tall fordeller: Hvordan bruke tall til å finne ut om verden er slik du tror den er.* 1. Utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag; 2013. 114 s.
29. Phinney SD. Ketogenic diets and physical performance. *Nutr Metabl.* 2004 Aug 17;1(1):2-9.
30. Ballaban-Gil K, Callahan C, O'Dell C, Pappo M, Moshé S, Shinnar S. Complications of the Ketogenic Diet. *Epilepsia.* 1998 Jul;39(7):744-8.
31. Norsk senter for forskningsdata (NSD) [Internett]. Bergen: NSD; dato [hentet 2017-04-09]. Tilgjengelig fra: <http://dbh.nsd.uib.no/>