

Mastergradsoppgave

Effekten av fatigue på variabilitet i sykkeltråkk

Håvard Graffer Bye

MKØ210

Mastergradsoppgave i

Kroppsøving og idrettsvitenskap

2013



Avdeling for lærerutdanning



SAMTYKKE TIL HØGSKOLENS BRUK AV MASTEROPPGAVE I KROPPSØVING

Forfatter: Håvard Graffer Bye

Norsk tittel: Effekten av fatigue på variabilitet i sykkeltråkk

Engelsk tittel: The effect of fatigue on variability in a pedaling task

Kryss av:

Jeg samtykker i at oppgaven gjøres tilgjengelig på høgskolens bibliotek og at den kan publiseres på internett i fulltekst via BIBSYS Brage, HiNTs åpne arkiv

Min oppgave inneholder taushetsbelagte opplysninger og må derfor ikke gjøres tilgjengelig for andre

Kan frigis fra: _____

Dato:

underskrift

Effekten av fatigue på variabiliteten i sykkeltråkk

Bye, Håvard Graffer.

Høgskolen i Nord-Trøndelag

Sammendrag

Variabilitet innad i en type koordinasjonsmønster kan omtales som intra-variabilitet, og variabiliteten kan endres med ulike perturbasjoner. Denne studien har til hensikt å se på endringer i variabilitet i et sykkeltråkk ved påføring av fatigue. Dette som en form for constraint som kan påvirke bevegelsens form, og derved også føre til endret arbeidsøkonomi gjennom større variabilitet i selve bevegelsen.

Fem frivillige mannlige idrettsfagsstudenter (alder 23.6 ± 1.8 år) gjennomførte studien. Forsøkspersonene gjennomførte en testprotokoll (arbeidsfase, spurt, restitusjonsfase, arbeidsfase og spurt).

For å analysere variabiliteten ble standardavviket (SD) i forhold til den gjennomsnittlige syklustiden brukt. SD for syklustiden ble brukt som et mål på variabilitet i både arbeidsfasen og spurten.

En signifikant økning i variabilitet ble funnet for SD i fatigue tilstand sammenlignet med uthvilt tilstand. Denne studien demonstrerer dermed at antall korreksjoner i den sykliske perioden kan påvirkes av fatigue, som igjen fører til en større og trolig uøkonomisk korreksjon av pedalhastigheten gjennom endret timing i aktivisering av beinmusklene.

Nøkkelord: Variabilitet, Fatigue, Motorisk kontroll, Koordinasjon

The effect of fatigue on variability in a pedaling task

Bye, Håvard Graffer.

Nord-Trøndelag University College

Abstract

Variability in a coordination pattern can be referred to as intra-variability, this variability changes with different perturbations. This study is designed to examine the effect of fatigue on variability in a pedaling task. This as a form of constraint that could affect the form of the movement, and thereby also lead to a change in work economy through greater variability in the movement itself.

Five voluntary male student athletes (age 23.6 ± 1.8 år) participated in this study. The participants completed a test protocol (work phase, sprint, recovery phase, work phase and sprint).

To analyze the variability the standard deviation (SD) of the average cycle was used. SD in the cycle-time was used as a measure of the variability in both the work phase and sprint.

Significant increase in variability was found for SD in the fatigued condition compared to the rested state. The principle result of this study is that fatigue influences pedaling time variability in cycling. This study demonstrates that the correction of the cycle period can be modulated by fatigue, thereby resulting in a greater number and probably an uneconomical correction of pedaling time, through timing activation of the lower limb muscles.

Keywords: Variability, Fatigue, Motor control, Coordination

Innhold

Innledning.....	6
Motorisk kontroll.....	6
Variabilitet.....	6
Fatigue.....	9
Sykling.....	10
Metode.....	11
Forsøkspersoner.....	11
Pretest.....	11
Variabilitetstest.....	11
Prosedyre/design.....	12
Utstyr.....	12
Dataanalyser.....	14
Statistisk analyse.....	14
Resultat.....	15
Diskusjon.....	17
Etterord.....	21
Litteraturliste.....	22

Innledning

Motorisk kontroll

Motorisk kontroll defineres av Rose & Christina (2006) som alle bevegelser og stillinger, uavhengig av kvalitet, som et uttrykk på motorisk kontroll. Men som Pedersen (2004) poengterer, sier dette oss noe om hva som inngår i begrepet, men hjelper oss lite til å begrense begrepet. En annen viktig egenskap som bør fås frem er at motorisk kontroll er noe som skjer akkurat i øyeblikket. Pedersen (2004) trekker også frem et viktig skille som bør være på plass. Det er skillet mellom motorisk kontroll, motorisk koordinasjon og motorisk ferdighet. Disse begrepene oppfattes ofte likt, men det er viktig å se skillet mellom dem.

Bernstein (1967) definerte koordinasjon som organiseringen av kroppen slik at den blir kontrollerbar, og at dette skjer gjennom reduksjon av frihetsgrader. Motorisk kontroll blir da et spørsmål om å styre de gjenværende frihetsgrader på best mulig måte. Ferdighet defineres i dette bilde som optimaliseringen av denne kontrollen i forhold til adferdens hensikt.

Bernstein(1996) definerte altså ferdighet som evnen til å løse et eller annet motorisk problem. Kontroll innebærer å gi hastighet, kraft og retning til de enkelte variablene, mens ferdighet er evnen til å gi optimale verdier, det vil da si god kontroll (Kelso, 1982).

Biologisk sett blir dette et spørsmål om regulering av nervemuskelsystemet (Kelso, 1982). Et viktig mål på en finslepen ferdighet, er god arbeidsøkonomi. Dette kan igjen ofte settes i sammenheng med bevegelsenes glatthet, at bevegelsen er jevn og rytmisk, dvs. har lite «jerk», som igjen er definert som den deriverte av akselerasjon. Arbeidsøkonomien blir ofte sett sammen med teknikk og blir definert som den metabolske kostnaden for et gitt mekanisk arbeid (Bassett, & Howley 2000).

Variabilitet

Variabilitet ofte brukt som et statistisk begrep som skal si noe om variasjonen innen en tallmengde som representerer en parameter, for eksempel befolkningens lengde eller vekt. Det kan imidlertid også omhandle forandringer over tid i enhet som observeres flere ganger, det vil si en tidsserie. Ofte uttrykkes variabilitet som et typisk avvik fra en sentraltendens, og kanskje oftest som et gjennomsnitt og et standardavvik.

I tidsserier kan det typiske for en serie og dens variabilitet, uttrykkes på en annen måte. En ser her på variasjoner over tid som bidrag fra ulike synsfunksjoner (Gottman, 1981). Da vil den dominante funksjonen være det typiske mens andre viser variabiliteten i serien. Det som ikke fanges opp innen en slik modell blir da en annen type varians, ofte kalt hvit-støy eller tilfeldige (stokastiske) variasjoner.

Variabilitet blir også brukt i andre sammenhenger; Darwin (1859) ser på variabilitet mellom individer, som den faktoren som fører til seleksjon som i fylogenesen driver utviklingen av nye arter gjennom tilpasning til et miljø. Det samme finnes hos Skinner hvor variabilitet i atferd er det som gir anledning til læring (Ingvaldsen, 1990). Edelman på sin side bygger helt klart på Darwin, når han ser på utviklingen av nevralt nettverk, som et spørsmål om seleksjon ut fra variabilitet. Det hele bygger på tanken om at neural diversity, og de enorme variasjonsmulighetene som ligger latent i nervesystemet (Sigmundsson & Haga, 2004), åpner for individets unike utvikling på et ontogenetisk nivå.

Alle disse formene for variabilitet er relevant for studier innen idrett, hvor en vil forstå betydningen av variabilitet i koordinasjonsmønster, variasjon i treningsøvelser og variasjon i teknikkvalg. Det finnes flere syn på variabilitet innenfor feltet motorisk kontroll og læring, og her vil to skisseres kort, en kognitiv tilnærming og det som kalles dynamisk system teori (dsa).

Kognitive motoriske teorier har tradisjonelt sett på motoriske ferdigheter styrt fra sentrale prosesser i hjernen, hvor en har snakket om øvingsbilder (Robb, 1972), motoriske programmer (Schmidt, 1999) og skjema (Piaget, 1952). I dette bildet har variabilitet blitt sett på som avvik fra et ideal, altså fra det optimale øvingsbildet eller programmet, som noe uønsket som skjer (Bartlett, Wheat & Robins, 2007). Målet er gjennom trening er å redusere avviket fra idealet. Dette er en modell hentet fra kybernetikken (Wiener, 1961), hvor en nettopp ser på variabilitet som støy. Der jobbet man for å redusere støyen i for eksempel en industrirobot ut i fra et program (øvingsbilde), som man så på som den optimale bevegelsesløsningen. Slike modeller ser nedgang i variabilitet i sammenheng med økt ferdighet ettersom utøveren lettere fryser ut uønskede frihetsgrader i bevegelsen (Bartlett m.fl, 2007).

I dynamisk system teori ser man på variabilitet som noe med en funksjonell rolle i bevegelse (Bartlett, 2007). Denne retningen bygger i stor grad på Bernstein (1967), hvor man ser en «naturlig variabilitet» som del av en god ferdighet, for eksempel i en serie hammerslag. Det er

det samme slaget selv om det varierer fra gang til gang, noe som beskrives som «repetition without repetition».

I denne tilnærmingen blir det foreslått at bevegelsesmønsteret kan selvorganisere seg på grunnlag av den dynamiske interaksjonen mellom organismen, miljøet og den oppgave spesifikke variabelen, altså mindre fokus på en styrende "agent" i hjernen (Newell & Emmerik, 1989). I følge Newell pålegger disse variablene en konstant endring i begrensningene til bevegelsene, og den resulterende variabiliteten som man ser i bevegelsesmønstrene reflekterer disse begrensningene. Variabilitet kan spille en stor rolle i å tilføre en større fleksibilitet i en bevegelsesløsning, og organismen kan tilpasse seg de ulike omgivelsene som oppstår under en bevegelse mer effektivt (Trezise, Bartlett & Bussey 2011).

Variabilitet i idrett kan tilføre fleksibilitet til atferden som da blir en form for systematisk prøving og feiling. Dette fører til læring, eller en tilpasning til tidligere lærte bevegelsesmønstre. Når en tillater de relevante parameterne i miljøet å produsere slik variabilitet, kalles det ofte at "terrenget underviser". Variabilitet kan til og med tilføre stokastiske perturbasjoner som tillater konstant prøving av ulike bevegelsesmønstre, slik at man kan velge det mest hensiktsmessige (Newell & Corcos 1993). Davids, Button & Bennett (2008) hevder at en sameksistens mellom variabilitet og stabilitet i en bevegelse vil gi opphav til frigjøring, og suspensjon av frihetsgradsprosesser. Det er en hensiktsmessig ressurs som kunne vært gunstig for bevegelseskontroll.

Flere studier har observert at utøvere har stor variabilitet i sitt koordinasjonsmønster. Det har også blitt sett på om koordinasjonsmønster endres ved ulike perturbasjoner, som f. eks fatigue. Aune, Ingvaldsen & Ettema (2008) gjorde en studie på "backhandslag" i bordtennis på nybegynnere og eksperter. Det viste seg at ekspertene hadde stor variabilitet i sitt koordinasjonsmønster ved en baselinetest, mens nybegynnerne var mer rigide. Etter at deltakerne ble påført fatigue reorganiserte ekspertene og nybegynnerne seg på forskjellig måte (Aune m.fl, 2008). Ekspertene ble mer rigide i sitt koordinasjonsmønster, mens nybegynnerne hadde enda mer kaos i sitt koordinasjonsmønster. Samtidig begynte nybegynnerne å bli enda mer upresise, mens ekspertene fortsatte å treffe selv om de ble mer rigide i sitt koordinasjonsmønster.

Det ble påvist i studien til Trezise m.fl (2011) der man så på endringen i koordinasjon hos to sprintere i løping ved påføring av fatigue. Det viste seg å være individuelle forskjeller i reorganiseringen etter å ha blitt utsatt for fysisk tretthet i henhold til muskelbruk, og endring

av vinkelutsalg i ulike ledd. Trezise m.fl. (2008) rapporterte en nedgang i variabilitet med fatigue, og forklarte dette ut i fra at de raske muskelfibrene ikke rakk å hente seg inn mellom hver sprint. De respektive studiene vil trolig dermed være med på å støtte mer dynamiske systemteorier, som vil kunne tillate til mer individuelle bevegelsesløsninger (Bartlett m.fl, 2007).

Variabilitet innad i en type koordinasjonsmønster kan omtales som intra-variabilitet. Det omhandler i hovedsak at en varierer i koordinasjonsmønster innad i en bestemt syklus, som for eksempel i et hammerslag. Som nevnt over, en god ”hammerbruker” treffer spikeren hver gang, men varierer kontinuerlig utførelsen av koordinasjonsmønsteret, altså ”repetition without repetition”. Det vil si at en oppnår det samme målet, men på forskjellig måte. Det er også vist at toppidrettsutøvere ikke kan klare å gjennomføre et koordinasjonsmønster nøyaktig likt flere ganger på rad, selv etter flere år med trening (Bartlett m.fl, 2007).

Fatigue

Fatigue blir referert til som både nedgang i prestasjon og en økning i anstrengelse for å holde et bestemt prestasjonsnivå (Enoka & Stuart, 1992). Bigland-Ritchie & Woods (1984) definerer fatigue som enhver nedgang i prestasjonskapasitet som et resultat av fysisk aktivitet.

Generelt fører dette til en nedgang i muskelkraft eller en nedgang i muskelkontraksjons hastighet, og fatigue nødvendiggjør da en endring i koordinasjonen av musklene for å opprettholde den samme kraftutviklingen. Disse endringene i koordinasjonsmønstrene har blitt observert til å forekomme enten gjennom en større aktivering av de proximale musklene, som en kompensasjon for de fatiguing distale musklene, eller en tidligere aktivering av disse fatiguing distal musklene (Bonnard, Sirin, Oddsson & Thorstensson, 1994). Reduksjon i kraftutvikling på sykkel er forbundet med både en nedgang i sentral aktivering og perifer svikt. Sentral fatigue impliserer en endring i konsentrasjon av neurotransmittere, som reduserer evnen til det sentrale nervesystemet og fullt ut aktivere musklene. Perifer fatigue inkluderer mekanismene som kommer inn etter den nevro-muskulære koblingen som akkumulering av metabolitter og tilgang på energi.

Sykling

Sykling er en bevegelse som innebærer koordinasjon av beinmusklene. Det kreves en organisasjon av de ulike fysiologiske muskelresponsene for å kompensere for de ulike forandringene i omgivelsene. På denne måten trenger forsøkspersonene hele tiden å utforske de umiddelbare omgivelsene, og korrigere syklustiden på et tråkk til det tilstrekkelige målet (Padulo, Di Capua & Viggiano, 2012).

Det finnes mange studier på variabilitet i gange og løping. Spesielt siden det er et interessant parameter i forhold til nevrologiske sykdommer, som Parkinsons's sykdom med flere. Studier av gange har vist at en dynamisk forståelse kan bidra med ny innsikt. Det er derfor interessant å se på sykling, og den type bevegelser i samme perspektiv.

Sykling på en forutbestemt tråkkfrekvens krever at syklistene kontinuerlig justerer kraft, og timing relativt til pedalen, slik at ønsket tråkkfrekvens blir opprettholdt. Når syklistene bommer med timingen skjer en akselerasjon, eller deakselerasjon, som igjen fører til en fluktasjon i systemet. Det er også interessant at mye av disse bevegelsene er kontrollert og styrt på ryggmargsnivå gjennom krysskoblinger, som blir påvirket av vinkelen til den motsatte foten (Brooke, 1992, 1995).

Det er forventet at antall korreksjoner av pedalhastigheten gjennom timingaktivisering av beinmusklene vil øke variabiliteten, som en mulig funksjon av sykkelhastigheten. Dette kan være av grunner som fatigue, ukomfortabel eller mekaniske faktorer (Padulo m.fl, 2012).

I denne studien blir fatigue sett på som reduksjon i kraft, dette blir målt ved hjelp av hopp på kraftplattform. Vi måler da den dynamiske kraften, en «hurtig-kraft»(power). Hypotesen er at vi vil se en nedgang i kraftutvikling utover testen.

En kan ut fra dette stille spørsmål om fatigue vil endre koordinasjonen til beinmusklene under sykkeltråkket, og dermed også påvirke den motoriske kontrollen i sykkeltråkket. Dette som en form for constraint som kan påvirke bevegelsens form, og derved også føre til endret arbeidsøkonomi gjennom større variabilitet i selve bevegelsen. Dette er tema for den følgende studien.

Metode

Forsøkspersoner

5 frivillige mannlige idrettsfagsstudenter (alder 23.6 ± 1.8 år, høyde 183 ± 3.7 cm, vekt 81.6 ± 3.5 kg; gjennomsnitt \pm SD) fra Høgskolen i Nord-Trøndelag avdeling for lærerutdanning deltok i denne studien. Før undersøkelsen satte vi noen inkluderingskriterier. Forsøkspersonene skulle være friske og uten noen form for skader. Forsøkspersonene skulle ha minst 50 timer på en landeveissykkel, samt ha tidligere erfaring med sykkelrulle. Differansen i gjennomsnittlig syklustid mellom test i uthvilt tilstand og fatigue i arbeidsfasen, skulle ikke være større enn $\pm 5\%$. Etter å ha blitt informert om prosedyre, metode, fordeler og potensielle farer signerte subjektene en samtykkeerklæring for å delta i studien. Testprotokollen ble gjennomført i henhold til de etiske standardene lagt ned i Helsinkideklarasjonen for menneskelige forsøk.

Oppgaven

Pretest

En uke før forsøket tok alle forsøkspersonene en max aerob watt test. Etter 15 minutters oppvarming ble startbelastningen satt til 100 W og økt med 30 W hvert andre minutt (Sarre, Lepers & Van Hoecke, 2005). Maksimal aerob kraft ble definert som den siste fullførte wattbelastningen (280 ± 30 W).

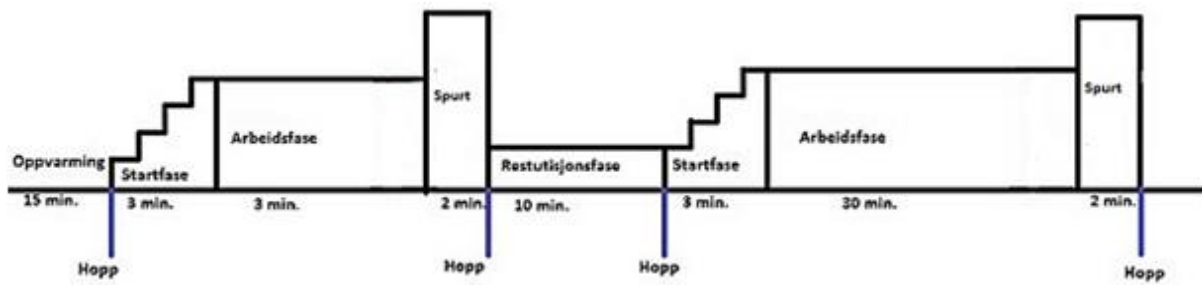
Variabilitetstest

1.test; 15 minutters oppvarming med påfølgende 3 spensthopp på kraftplattform. 3-min oppstartsfase. 3-min arbeidsfase på som 65 % av max aerob watt. 2-min spurt sittende. 3 spensthopp på kraftplattform. Denne testen ble definert til test i uthvilt tilstand

Restutisjonsfase; 10 minutter rolig på sykkel som avsluttet med 3 spensthopp på kraftplattform.

2. test; 3-min oppstartsfase. 30-min arbeidsfase på som 65 % av max aerob watt. 2-min spurt sittende. 3 spensthopp på kraftplattform. Denne testen ble definert til test i fatigue tilstand.

Prosedyre/Design



Figur 1a. Testdesign for variabilitetstesten.

Forsøkspersonene ble orientert i hvordan programmet på pc fungerte, slik at rett tråkkfrekvens og watt kunne opprettholdes. Under Pretesten valgte forsøkspersonene tråkkfrekvens selv, de ble instruert til å ta seg helt ut for å komme lengst opp i wattbelastning. Etter pretesten ble siste fullførte wattbelastningsnivå lest av, som vi igjen regnet om til riktig wattbelastning i arbeidsfasen (65 %). Tråkkfrekvensen forsøkspersonene hadde ved 65 % av max wattbelastning ble også lest av, og skulle brukes i arbeidsfasen.

Ved 1 og 2 test varmet forsøkspersonene fritt opp på sykkelen. Oppstartsfasen ble brukt til å finne riktig tråkkfrekvens og wattbelastning. Arbeidsfasen ble overvåket slik at forsøkspersonene holdt riktig wattbelastning og tråkkfrekvens. Når de kom til spurten ble forsøkspersonene rettleidet til å velge gir tilsvarende det de hadde ved høyeste wattbelastning på pretesten, og fullføre til utmattelse.

Restitusjonsfasen foregikk ved at forsøkspersonene syklet på selvvalgt wattbelastning og tråkkfrekvens. Ved spensthoppene ble forsøkspersonene instruert til å hoppe så høyt som mulig, og disse ble gjort uten sko. De fikk instruks om å bruke så kort tid som mulig mellom sykkel og kraftplattform for og minimalisere potensielle feilkilder.

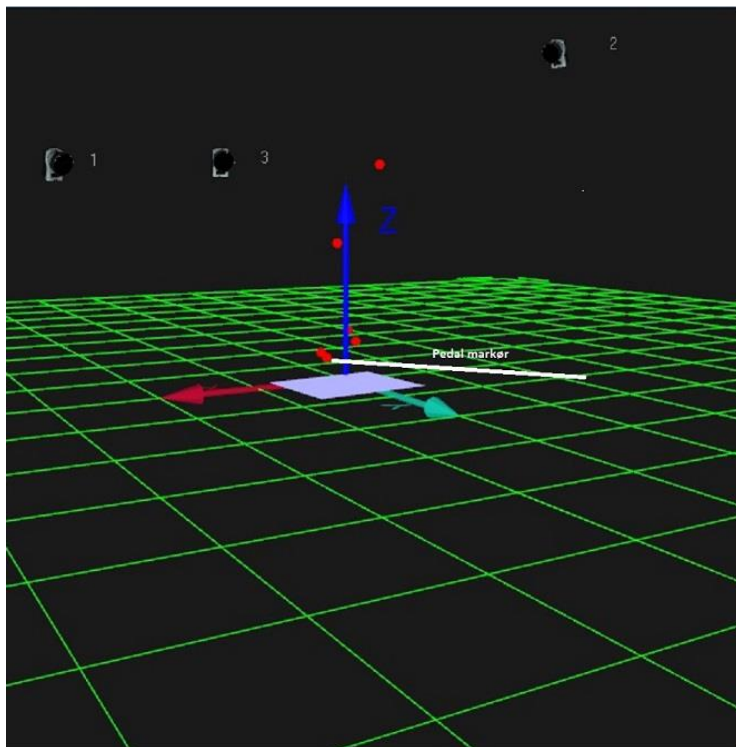
All aktivitet på sykkel ble gjort med sykkelsko. En refleksmarkør ble satt på pedalen for å måle endringer vertikalt (Fig. 1b).

Utstyr

Pretesten og variabilitetstesten ble utført med en landeveissykkel (Vipera R333) på en rulle (Tacx Fortius Type; T1941) styrt av en PC (HewlettPackard) og kontrollert av program (Tacx Trainer Software 4, versjon; 4.6.0.(Fig. 1c)).

Spentstesten ble målt med en kraftplattform (MuscleLab, Ergotest innovation AS, versjon; 10.0.32.1991)

Opptakene ble gjort med tredimensjonalt (3D) motion capture system (Qualysis, Gothenburg, Sweden, (Fig. 1b)).



Figur 1b. Illustrasjon av Qualisys kameraplassering og refleksmarkør.



Figur 1c. Illustrasjonsfotoet viser utstyret som ble brukt.

Dataanalyser

For å studere variabiliteten ble et tredimensjonalt (3D) motion capture system (Qualysis, Gothenburg, Sweden) med tre kameraer ble brukt for å følge refleksmarkøren og skape en 3D analyse. Opptaksfrekvensen ble satt til 500hz. Det ble plukket ut 1 minutt fra arbeidsfasen og 1 minutt fra spurten i både uthvilt tilstand og ved fatigue for analyse. For å analysere variabiliteten ble standardavviket (SD) i forhold til den gjennomsnittlige syklustiden brukt. SD for syklustiden ble brukt som et mål på variabilitet i både arbeidsfasen og spurten. Coefficient of variation (CV) ble analysert basert på dette.

Resultatene er uttrykt som gjennomsnitt (mean) \pm standardavviket (SD), med mindre annet blir presisert.

For å analysere hoppresultatene ble gjennomsnittet for hver serie sammenlignet.

Statistisk analyse

Fisher's exact test ble brukt for å se korrelasjonen i variabilitet mellom uthvilt tilstand og fatigue i både arbeidsfase og spurt.

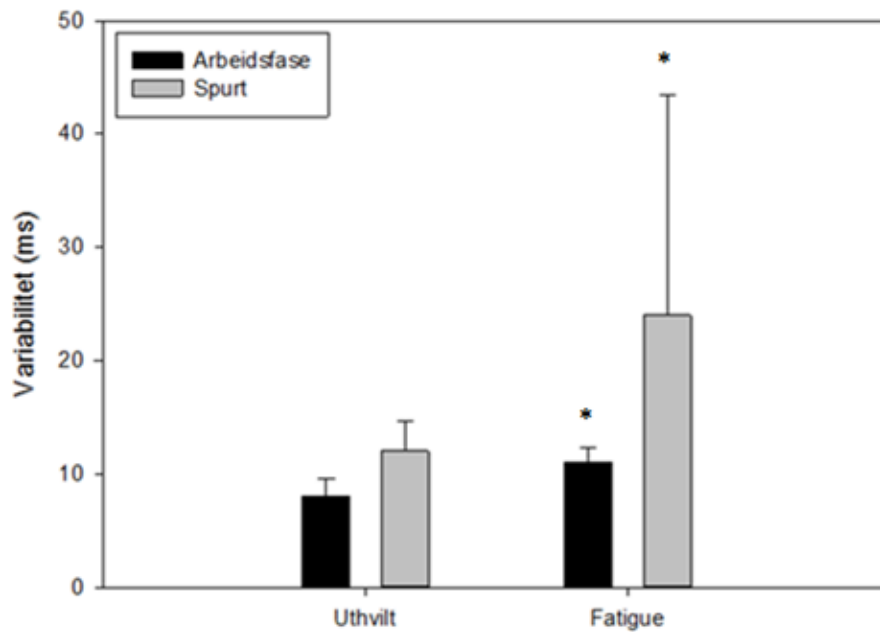
Fisher's exact test ble brukt for å se korrelasjonen i Coefficient of variation (CV) mellom uthvilt tilstand og fatigue i både arbeidsfase og spurt.

En one tail t -test for paired data ble brukt for å sammenligne kraftutviklingen i hoppseriene.

Alle statistiske analyser ble gjort via programmet SPSS 19.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), SigmaPlot 11.0 for Windows (Systat software Inc., San Jose, CA, USA) og Microsoft Excel 2010 for Windows (Microsoft Corporation). Det statistiske signifikans nivået ble satt til $p \leq 0,05$.

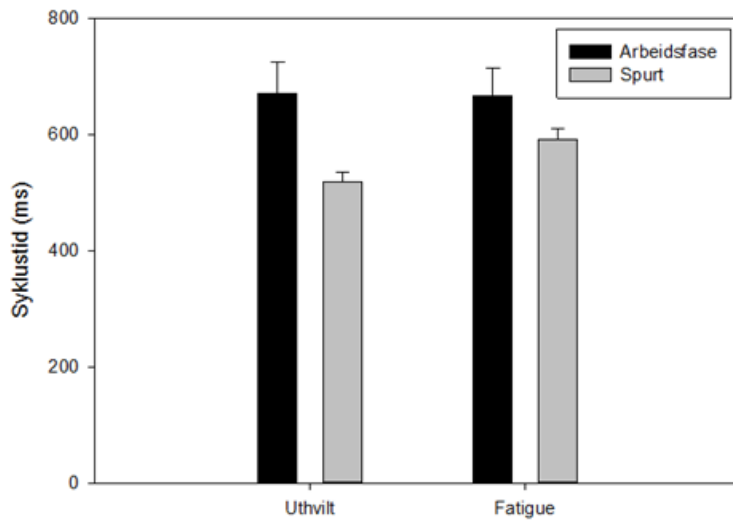
Resultat

Resultatet av analysen av variabiliteten i sykkeltråkket i uthvilt tilstand og fatigue (Fig.2a) viser at det er en økning i variabiliteten med fatigue sammenlignet med uthvilt tilstand: standardavviket i syklustiden var signifikant høyere i tilstand med fatigue sammenlignet med uthvilt tilstand, både i arbeidsfasen og spurt utført med Fisher's exact test ($p \leq 0,05$).



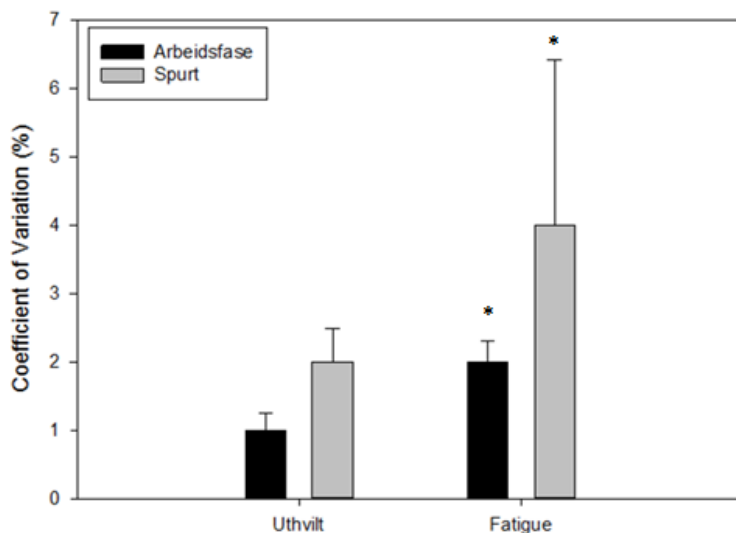
Figur 2a. Variabilitet i sykkeltråkket fra uthvilt tilstand til fatigue i arbeidsfase og spurt. Resultatene viser en signifikant økning fra uthvilt tilstand til fatigue tilstand. * Indikerer signifikant økning fra uthvilt tilstand til fatigue tilstand i både arbeidsfase og spurt.

Gjennomsnittlig syklustid er rapportert i Fig. 2b og denne var ikke signifikant ulik mellom de ulike fasene, ($670 \pm 8\text{ms}$) i uthvilt tilstand mot ($666 \pm 11\text{ms}$) i fatigue tilstand i arbeidsfasen, ($518 \pm 12\text{ms}$) i uthvilt tilstand mot ($591 \pm 24\text{ms}$) i fatigue tilstand i spurten.



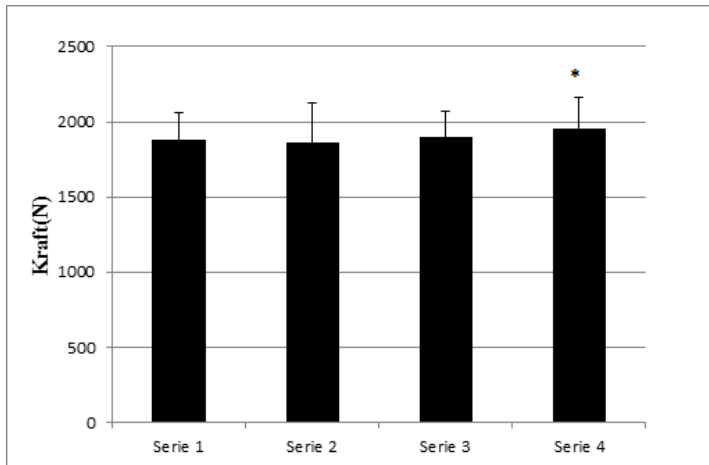
Figur 2b. Gjennomsnittlig syklustid i de ulike fasene. Ingen signifikant forskjell mellom uthvilt tilstand og fatigue i hverken arbeidsfase eller spurt.

Coefficient of variation (Fig.2c) viser en økning mellom uthvilt tilstand og fatigue i både arbeidsfase og spurt: Coefficient of variation var signifikant høyere i tilstand med fatigue sammenlignet med uthvilt tilstand både i arbeidsfase og spurt utført med Fisher's exact test ($p \leq 0,05$).



Figur 2c. Coefficient of variation i % (CV) i sykkeltråkket fra uthvilt tilstand til fatigue i arbeidsfase og spurt. Resultatene viser en signifikant økning fra uthvilt tilstand til fatigue tilstand. * Indikerer signifikant økning fra uthvilt tilstand til fatigue tilstand i både arbeidsfase og spurt.

Gjennomsnittlig kraftutvikling i de ulike hoppseriene er rapportert i Fig.2e viser en økning i kraftutvikling fra første serie til siste serie: gjennomsnittlig kraftutvikling var signifikant høyere i siste serie sammenlignet med første serie utført med one tail *t* test for paired data($p = 0,007637$; $p < 0,05$; Fig. 2d).



Figur 2d. Gjennomsnittlig kraftutvikling i de 4 hoppseriene. Resultatene viser en signifikant økning fra første til siste serie. * Indikerer signifikant økning fra første til siste serie.

Diskusjon

Alle forsøkspersonene gjennomførte forsøket uten noen form for problemer med prosedyrer eller krav til prestasjoner. Det eneste som bød på noen problemer var at hele innretning med sykkel og mølle flyttet seg under de kraftigste spurtene, noe som imidlertid ikke fikk konsekvenser for de målingene som blir brukt her.

Hypotesen til denne studien – at en økning i standardavvik i syklustiden, altså variabilitet skulle inntreffe ved påføringen av fatigue. Dette var basert på teorien om at det er forventet at antall korreksjoner av syklustiden gjennom timingaktivisering av beinmusklene vil øke variabiliteten, som en mulig funksjon av sykkel hastigheten. Dette kan være av grunner som fysisk tretthet/ukomfortabel eller mekaniske faktorer (Padulo, m.fl, 2012)

Hovedfunnene i denne studien er at fatigue påvirker variabiliteten i sykkeltråkket. Variabilitet økte som forventet ut i fra hypotesen signifikant fra uthvilt tilstand til fatigue i både arbeidsfase og spurt.

Padulo, m.fl. (2012) så på hvordan variabiliteten i sykkeltråkket endret seg med to ulike overkroppsposisjoner og rapporterte en økning i variabiliteten fra å holde hendene høyt på styret til lavt på styret. Både studien til Padulo, m.fl. (2012) og denne studien demonstrerer at antall korreksjoner i den sykliske perioden kan påvirkes av kroppsposisjoner og fatigue. Dette fører igjen til en større korreksjon av syklustiden gjennom timingaktivisering av beinmusklene. Dette gjør det også mulig å tenke seg at dersom disse variablene endres samtidig, altså at sitteposisjonen endres som følge av fatigue, kan effekten på variabilitet bli enda større. Dette kan være en viktig betraktning i forhold til videre studier, ettersom en kan forvente at økt variabilitet i tråkket kan virke negativt på arbeidsøkonomi.

Aune m.fl. (2008) rapporterte som nevnt at etter deltakerne ble påført fatigue reorganiserte ekspertene og nybegynnerne seg på forskjellig måte. Nybegynnerne fikk mer kaos i sitt system, mens ekspertene ble mer rigide. Sammenlignet med våre funn kan det tyde på at forsøkspersonene våre holder til på et nybegynner nivå, og ettersom variabiliteten øker med påføring av fatigue. Det gjenstår imidlertid å se om slike forskjeller eksisterer mellom mer eller mindre erfarne syklistere.

I motsetning til dette fant Trezise m.fl. (2008) en nedgang i variabilitet med fatigue. Det ble forklart som en nedgang i variabilitet på grunn av at det var mindre raske muskelfibre å rekruttere. Disse ulikhetene kan muligens forklares med at Trezise m.fl. (2008) bedriver et anaerobt arbeid, mens i vår studie i hovedsak bedriver et aerobt arbeid. Vi kan forklare den økte variabiliteten med at vi sannsynligvis har flere raske muskelfibre som kan rekrutteres når en kommer til spurten etter en aerob periode, enn etter en anaerob periode. Altså det som foreslås som en forklaring, er at ulike effekter på variabilitet bygger på at i et aerobt arbeid så vil muskelfibertypene bli aktivert i en fast bestemt rekkefølge (type 1a, 2a og 2b respektivt) i det vi øker innsatsen i arbeidet (Henneman, Somjen & Carpenter, 1965). Kombinasjonen av disse fibre er det som avgjør hvor mye kraft vi får produsert. Denne progressive muskelfiberrekrutteringen i aerobt arbeid gjør at de trege muskelfibre er mer slitne etter sykklingen, og at man da i spurten går rett på bruken av raske muskelfibre som er mer uthvilte. Det er denne bruken av raske muskelfibre som gjør seg gjeldende når vi ser en økt variabilitet. Den samme forklaringen kan brukes om resultatene i en fatigue tilstand for arbeidsfasen, der en ser økt variabilitet, ettersom forsøkspersonene har utført et aerobt arbeid og vil ha slitt ut mange trege muskelfibre.

I og med at variabiliteten øker, men ikke påvirker kraftutviklingen i spurten i noen negativ signifikant grad, men øker kraftutviklingen i hopp signifikant. Derav kan man spekulere i om variabiliteten en ser i spurten er noe positivt som hjelper oss gjennom at vi blir mer fleksible i bevegelsesmønsteret vårt. Ut i fra dette kan vi velge det bevegelsesmønsteret som er det mest hensiktsmessige, som også foreslått av Newell & Corcos (1993). Den økte variabiliteten som vi finner kan være ett uttrykk på denne økte prøvingen av bevegelsesmønstre, i søken på å finne det mest hensiktsmessige.

Resultatene som ble funnet i kraftutviklingen i hopp var overraskende. Tanken var at kraftutviklingen skulle gå ned med fatigue, men det som skjedde var at kraftutviklingen gikk opp(Fig 2e). En potensiell forklaring er fenomenet post-activation potentiation(PAP), som i andre sammenhenger er velkjent. PAP er definert som en økning i kraftutvikling etter en kontraksjon i muskelen. Denne kontraksjonen eller trening kan være en maximal voluntary contraction(MVC) eller en serie fremkalte rykninger i muskulaturen. Det er blitt vist gjentagende at slik stimulus i muskelen kan øke kontraksjonshastigheten som igjen fører til raskere utvikling av kraft og eksplosive bevegelser(Xenofondos, m.fl. 2010).

Det er foreslått to mulige forklaringer på fenomenet PAP. Den mest trolige forklaringen er fosforyleringen av myosinkjedene, og at dette i hovedsak tilskrives actin-myosin interaksjonen via Ca^{2+} frigjort fra sarkoplastisk retikulum (Hodgson, Docherty & Robbins. 2005). Myosinkjedene som er ansvarlig for å lage ATP tilgjengelig i actin-myosin komplekset, som igjen øker andelen av actin-myosin kryssbroer. Derav vil kontraksjoner i muskelen øke kraftutviklingen i kryssbroene som i sin tur forbedrer prestasjonen i eksplosive bevegelser(Hodgson, m.fl. 2005). En annen teori som har blitt foreslått som en alternativ mekanisme som fører til PAP er økningen i rekrutteringen av høyere muskelfiber(Chiu, m.fl. 2003). Økt nerveaktivitet kan forekomme gjennom rekrutteringen av flere muskelfiber, bedre synkronisering av muskelfiber, en nedgang i presynaptiske begrensninger eller importen av flere sentrale nervesignaler(Aagaard, 2003).

Hoppøvelser er ofte brukt på grunn av dens likhet til idrettsbevegelser og dens relativt lave kompleksitet(Xenofondos, m.fl. 2010). I denne studien gikk kraftutviklingen opp fra første serie til siste serie($p < 0,05$;Fig. 2e). Xenofondos, m.fl. (2010) fant studier av Gourgoulis m.fl. (2003), Young, Jenner & Griffiths, (1998), og Gullich and Schmidtbleicher (1996) som alle viser en økning i kraftutvikling i hopp etter knebøy med ulike vekter og hvileperioder for å

initiere PAP, og alle disse metodene klarte suksessfullt å fremkalle PAP. Videre forskning må til for å kunne se på om det finnes en korrelasjon mellom knebøy og PAP sammenlignet med sykkel og PAP.

Man kan spekulere på om det i et biologisk perspektiv er overlevelsesinstinkt som slår inn når man hopper høyere i siste serie. En potensiell forklaring på dette kan være at når man er sliten så vil man klare å utvikle ekstra kraft når man må. I så fall kunne dette testes ved å se om PAP er bevegelsestspesifikt eller en mer generell faktor, for eksempel om PAP virker fra fatigue i beina til kraft i armene.

Man kan ikke se bort i fra at tiden mellom syklingen og hoppene kan gjøre at man rekker å hente seg inn for å utvikle mer kraft, men designet på testen var slik at denne tiden skulle minimaliseres og var i tillegg lik mellom hver gang de var på kraftplattformen.

I den statistiske analysen av kraftutviklingen på kraftplattformen ble det brukt en enhalet *t*-test for paret data. Denne ble brukt ettersom vår hypotese var at kraftutviklingen skulle gå ned med fatigue, men da det motsatte skjedde fant en at bruken av enhalet *t*-test for paret data var en korrekt tilnærming.

Det positive med denne studien er at en ser at det er mange andre spørsmål som burde belyses ut fra de foreliggende resultater. For eksempel kunne videre forskning sett på resultatene til en gruppe syklister man vet holder et høyt nivå, for så å se om funnene har samme tendens som Aune m.fl. (2008). En kunne se om PAP er bevegelsestspesifikt eller en mer generell faktor. Ved videre studier må også mølle og sykkel forankres slik at en kan gjøre beregninger av variabilitet i vinkelhastighet for ulike deler av tråkket.

Etterord

Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere professor Rolf P. Ingvaldsen og høgskolelektor Tore Kristian Aune for god veiledning gjennom hele masteroppgaven. En stor takk rettes også til Håvard Loraas for sitt engasjement i analyser av datamaterialet. Til slutt vil jeg takke forsøkspersonene for deres deltakelse og engasjement.

Litteraturliste

Aagaard, P. (2003). Training induced changes in neural function. *Exerc. Sport Sci.Rev.* 31(2):61–67.

Aune, T.K., Ingvaldsen, R.P. & Ettema, G.J.C. (2008). Effect of physical fatigue on motor control at different skill levels. *Perceptual and motor skills.* 106,371-386

Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*; 6(2): 224 – 243.

Bassett, D. R., JR & Howley, E. T. (2000) Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 32, No. 1, pp. 70–84.

Bernstein, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements.* Oxford: Pergamon Press.

Bernstein, N. A. (1996) On dexterity and its development. I: Latash, M. L., & Turvey, M. T.(Red), *Dexterity and its development* (s. 435-439). Mahwah,NJ: Erlbaum.

Bigland-Ritchie, B., & Woods, J. J.(1984) Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & nerve*, 7, 691-699.

Bonnard, M., Sirin, A.V., Oddsson, L., & Thorstensson, A. (1994). Different Strategies to Compensate for the Effects of Fatigue Revealed by Neuromuscular Adaptation Processes in Humans, *Neuroscience Letters*, 166, 101-105.

Brooke, J. D., Mcllroy, W. E., Collins, D. F. (1992), Movement features and H-reflex modulation. I. Pedalling versus matched controls, *Brain Research*, 582 78-84

Brooke, J. D., Mcllroy, W. E., Collins, D. F. & Misiaszek, J. E. (1995) Mechanisms within the human spinal cord suppress fast reflexes to control the movement of the legs, *Brain Research* 679 255-260

Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. *J. Strength Cond. Res.* 17(4):671–677.

Darwin, C. (1859) *The origin of species and The descent of man*. New York: Modern library.

Davids, K., Button, C. & Bennett, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach*. Champaign, Illinois: Human Kinetics

Enoka, R. M., & Stuart, D.G. (1992). Neurobiology of Muscle Fatigue, *Journal of Applied Physiology*, 72, 1631-1648

Gottman, J. M. (1981). *Time series analysis*. Cambridge, U.P, London

Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warmup program on vertical jumping ability. *J. StrengthCond. Res.* 17:342–344.

Gullich, A., Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *Int. Amat. Ath.* 11(4):67–81.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *Journal of Neurophysiology*, 28, 599-620.

Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post activation potentiation: underlying physiology and implication for motor performance. *Sports Medicin* 35(7):585-595.

Ingvaldesen, R. P., (1990) *Bruk av operante teknikker i trening*, (doktoravhandling) psykologisk institutt og idrettshøgskolen-AVH, Universitetet i Trondheim

Kelso, J. A. S. (1982). Concepts and issues in human motor behavior: Coming to grips with the jargon. I: J. A. S. Kelso (RED), *human motor behavior: an introduction* (s.21-58). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum associates.

Newell, K. M. & Corcos, D. M.(1993). *Issues in variability and motor control*. In: Newell KM, Corcos DM, editors. *Variability and Motor Control*. Champaign IL: Human Kinetics. p. 1-12.

Newell, K. M., & Van Emmerik, R. E. A. (1989). The Acquisition of Coordination: Preliminary Analysis of Learning to Write, *Human Movement Science*, 8, 17-32.

Padulo, J., Di Capua, R., Viggiano, D. (2012). Pedalling time variability is increased in dropped riding position. *Eur J Appl Physiol*, 112: 3161 – 3165.

Pedersen, A. V. (2004). Motorisk kontroll. I: Sigmundsson & Haga (red.) *Motorikk og Samfunn* (s. 41-61), Sebu forlag

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in the child*. RKP, London

Robb, M. D. (1972). *The dynamics of motor skills acquisition*. Prentice hall, New Jersey

Rose, D. J., & Christina, R. W. (2006). *A multilevel approach to the study of motor control and learning*. Andre utgave. Boston: Allyn and Bacon

Sarre, G., Lepers, R., & Van Hoecke, J. (2005). Stability of pedalling mechanics during a prolonged cycling exercise performed at different cadences. *Journal of sport sciences*; 23(7): 693 – 701.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (1999). *Motor control and learning. A behavioral emphasis*, Third edition. Human kinetics.

Sigmundsson & Haga (red.) (2004) *Motorikk og Samfunn* (s. 18 - 19), Sebu forlag

Treize, J., Bartlett, R., & Bussey, M. (2011). Coordination Variability Changes with Fatigue in Sprinters. *International Journal of Sport Science & Coaching*, 6, (3): 357 – 363.

Wiener, W. W. (1961). *Cybernetics*. M. I. T. Press. Cambridge, Mass.

Xenofondos, A., Laparidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, C. H., Bassa, E, & Kotzamanidis C. (2010) Post-activation potentiation: factors affecting it and the effect on performance *Journal of Physical Education and Sport*, 28, (3): 32 – 38.

Young, W. B., Jenner, A., & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J. Strength Cond. Res.* 12:82–84.