

# Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>1</b>
<b>1. BAKGRUND</b> .....	<b>2</b>
<b>2. SYFTE</b> .....	<b>2</b>
<b>3. METOD</b> .....	<b>2</b>
<b>4. GRUNDLÄGGANDE TRÄNINGSLÄRA</b> .....	<b>4</b>
<b>5. GRUNDLÄGGANDE FYSIOLOGI</b> .....	<b>6</b>
5.1 ENERGIGIVANDE SYSTEM .....	6
5.1 Anaeroba Alactacida Energisystemet - ATP-CrP nedbrytning:.....	7
5.2 Anaeroba – Lactacida Energisystemet.....	7
5.3 Aeroba Energisystemet.....	8
5.4 Samarbete mellan kroppens energisystem.....	9
5.5 Kontraktionsprocessen.....	9
5.6 Motorisk enhet/Muskelfibrer.....	10
5.7 Syrgastransporten – central/lokal kapacitet.....	11
5.8 Hjärta/Cirkulation.....	11
5.9 Lungor.....	12
5.10 Blod.....	12
5.11 Kapillärer/Mitokondrier:.....	13
5.12 Enzymer:.....	13
5.13 Buffertkapacitet.....	14
5.14 Maximalt Syreupptag .....	14
5.15 Mjölksyraträskel .....	15
5.15 Anaerob kapacitet & effekt.....	16
5.16 Blodprov.....	18
5.18 <sup>31</sup> P-nuclear magnetic resonance spectroscopy (31P-MRS).....	18
<b>6. BARN OCH UNGDOMARS UTVECKLING</b> .....	<b>20</b>
6.1 FYSISK UTVECKLING .....	22
6.1.1 Skelett .....	22
6.1.2 Nervsystem .....	22
6.1.3 Hjärta/Lungor .....	22
<b>7. RESULTAT</b> .....	<b>23</b>
7.1 ANAEROB UTHÅLLIGHET - I RELATION TILL MOGNAD & TILLVÄXT .....	23
7.2 ANAEROB UTHÅLLIGHET – EFFEKT AV TRÄNING INNAN TILLVÄXTSPURTEN.....	26
7.3 ANAEROB UTHÅLLIGHET – EFFEKT AV TRÄNING EFTER TILLVÄXTSPURTEN .....	29
7.4 AEROB UTHÅLLIGHET – I RELATION TILL MOGNAD OCH TILLVÄXT .....	32
7.6 AEROB UTHÅLLIGHET – EFFEKT AV TRÄNING EFTER TILLVÄXTSPURTEN .....	35
<b>8. DISKUSSION</b> .....	<b>36</b>
8.1 ANAEROB UTHÅLLIGHET .....	36
8.2 AEROB UTHÅLLIGHET .....	40
<b>9. SLUTSATS</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>44</b>
Figurförteckning .....	48
Tabellförteckning.....	48
Tabell 1. Sid Muskelfibertypernas egenskaper:.....	48

# **Sammanfattning**

## **Bakgrund**

Svenska Skidförbundets utbildningsmaterial anger perioder under uppväxten där uthållighetsträning bör prioriteras. Optimerad träning i unga år är en förutsättning för att nå maximal kapacitet vilket aktualiserar frågorna kring dess träningsbarhet.

## **Syfte/Frågeställning**

Syftet med rapporten är att klargöra effekterna av uthållighetsträning från prepubertal, pubertal och postpubertal ålder.

## **Metod**

Litteraturgenomgång har används som undersökningsmetod och främst innefattat sökningar i vetenskapliga databaser.

## **Resultat**

Resultatet visar att aerob och anaerob uthållighetsförmåga kan förbättras till följd av träning både före och efter tillväxtpurten.

## **Slutsats**

Såväl den aeroba som den anaeroba uthållighetsträningen bör ingå i en allsidig träningsplanering från prepubertal till postpubertal ålder.

## 1. Bakgrund

Forskare, tränare och ledare har sedan årtionden debatterat huruvida olika typer av fysiska Bakgrund kvalitéer är mer eller mindre träningsbara beroende på vart i tillväxten barn och ungdomar befinner sig. Att ta hänsyn till sådana eventuella perioder under ett barns tillväxt borde rimligtvis innebära ett mer optimerat träningsupplägg vilket i förlängningen ökar sannolikheten att den aktive i framtiden skall nå sin maximala kapacitet. Inom Svenska Skidförbundets stegutbildningar används utbildningsmaterial som påvisar att det just under åren för tillväxten finns perioder som bör prioriteras samt ej bör prioriteras av vissa träningsformer, varav uthållighet är en av dessa.<sup>1</sup> Uthållighet är en fysisk kvalité, vare sig den innebär huvudsaklig aerob eller anaerob metabolism som tränas inom de flesta idrotter och då även alpin utförsåkning, vilket aktualiserar frågorna kring dess träningsbarhet.

## 2. Syfte

Syftet och målet med rapporten är att klargöra effekterna av uthållighetsträning hos barn/ungdomar och därigenom bidra med ökad kunskap bland landets alpina tränare. Slutprodukten syftar till att användas som inläsningsmaterial vid Skidförbundets stegutbildningar.

## 3. Metod

För att besvara nedanstående frågeställningar har litteraturgenomgång används som undersökningsmetod. Litteraturgenomgången har främst innefattat sökningar i olika databaser för att hitta relevanta forskningsartiklar samt annan idrottsvetenskaplig litteratur. Samtliga internetsökningar efter forskningsartiklar har utgått från databasen PubMed. För att tydliggöra vad som ansågs vara relevant litteratur och för att avgränsa sökområdet formulerades följande kriterier: I sökningarna som innefattade den eventuella träningsbarheten av den anaeroba kapaciteten innan passerad tillväxtspurt sattes gränsen för flickor vid en ålder av 12 år medan gränsen för pojkar sattes vid 14 års ålder då studier visat att flickor i genomsnitt når

---

<sup>1</sup> Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

tidpunkten för tillväxtspurten 2 år tidigare än pojkar.<sup>2</sup> Ovanstående sökindervall syftade till att enbart inkludera friskhetsförklarade individer.

Studier har visat att ingen fysisk aktivitet kan pågå genom uteslutande aerob eller anaerob metabolism vilket innebär vissa svårigheter med att formulera en tillfredställande definition gällande *uthållighet*. Nedan följer den definition vilken i rapporten används i syfte att avgränsa begreppet uthållighet:<sup>3</sup>

***Uthållighet***

– definieras som förmågan att motstå Trötthet vid en specifik aktivitet

***Trötthet***

– definieras som oförmåga att bibehålla en given arbetsintensitet, kraftutveckling eller rörelsehastighet

Vid litteratursökningarna i databasen PubMed användes följande sökord samt kombinationer av dessa:

- *Peak height velocity, maturity, growth, development, prepubertal, children, boys, girls, postpubertal, adolescents, adults, puberty, review, training, detraining, exercise, anaerobic, aerobic, power, capacity, test, biopsy, wingate, maximal accumulated oxygen deficit, MAOD, 31P-MRS, V02max, duration, intensity, adaptation, running, performance, intermittent, ATP, PCr, metabolism, lactate, blod, muscle, fibre, glycogen, composition, testosterone, enzyme, glycolytic, oxidative, activity, fatigue, recovery*

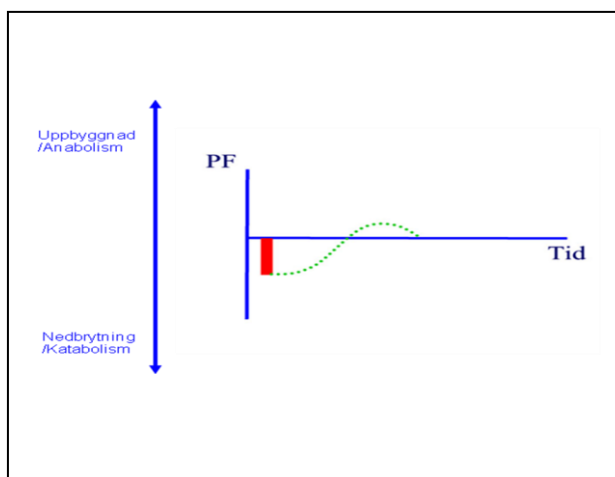
---

<sup>2</sup> Eriksson B-O (1990) *Barns tillväxt och mognas och dess konsekvenser för idrotten. Barn, ungdom och idrott*. Idrottens forskningsråd – Sveriges riksidrottsförbund. Sista ordet AB. ISBN: 91-87154-07-02.

<sup>3</sup> Gore, CJ (2000) *Physiological tests for elite athletes*. Campaign Human Kinetics. 2000.

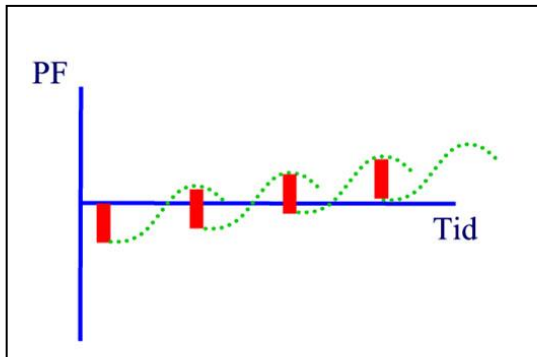
## 4. Grundläggande Träninglära

Människokroppen har en fantastisk anpassningsförmåga vilket ses både i akuta situationer och över längre tidsperioder. Till följd av olika typer av träningsstimuli sker olika former av anpassningar vilka påverkas av en mängd faktorer som arv, ålder, träningsstatus m.fl. Målet med idrottsträning är att i huvudsak nå en prestationsförbättring vilket kräver just anpassning. Anpassning till träning sker främst genom två faser och inleds med en nedbrytande (katabol) fas och följs av en uppbyggande (anabol) fas vilket medför en ökad prestationsförmåga. Förloppet benämns vanligtvis som Superkompensation och innebär att träning medför nedbrytning och vila medför uppbyggnad med en extra påbyggnad av kapacitet (överkompensation) jämfört med tidigare prestationsnivå. För att nå superkompensation krävs att ansträngningen/belastningen är tillräcklig vilket påverkas i mycket hög utsträckning av individens träningsstatus.



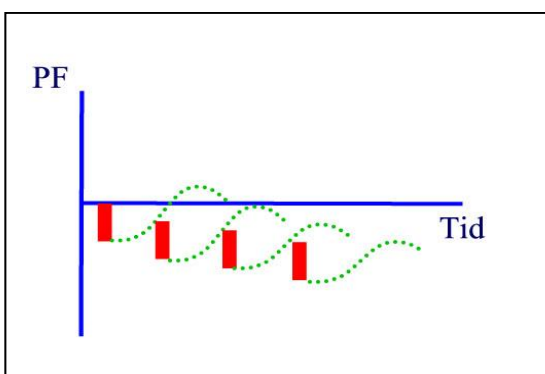
**Figur 1. Anpassning till träning.** Sker främst genom två faser och inleds med en nedbrytande (katabol) fas och följs av en uppbyggande (anabol) fas vilket medför en ökad prestationsförmåga. Förloppet benämns vanligtvis som Superkompensation och innebär att träning medför nedbrytning och vila medför uppbyggnad med en extra påbyggnad av kapacitet (Överkompensation) jämfört med tidigare prestationsnivå.

Regelbunden träning är en förutsättning för utveckling/framgång. Regelbunden och väl genomtänkt träning innebär att träningspassen planeras med lagom intervall i syfte att öka träningsbelastningen och prestationsförmågan successivt. Med rätt mängd träning och tid för återhämtning kan effekterna av träningspassen adderas.



**Figur 2. Progressiv träningsplanering.** En bra genomförd träningsplanering innebär att effekterna av varje träningspass kan adderas vilket ger progression av prestationsförmågan över tid.

En ofullständig regelbundenhet i träningsprocessen innebär att prestationsförmågan sjunker över tid. Förklaringar till att prestationsförmågan sjunker kan vara att träningspassen kommer med för täta intervall vilket medför ofullständig återhämtning med ökad risk för skada och sjukdom till följd. Balansen mellan nedbrytning och uppbyggnad är alltså centralt för att uppnå superkompensation vilket innebär att vila mellan träningspassen heller inte får vara för lång då superkompensation påverkas av den totala träningsbelastningen.



**Figur 3. Negativ träningsbelastning över tid.** Bilden visar en sämre träningsplanering vilken innebär en sänkning av prestationsförmågan över tid. Träningsplaneringen ökar också risken för att drabbas av skador och sjukdomar.

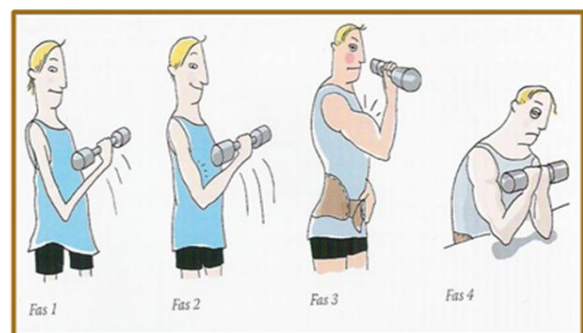


Bild kopierad: *Tester och mätmetoder för idrott och Hälsa.* Sisu Idrottsböcker. M. Tonkonogi, A. Henriksson, H. Bellardini

På samma sätt som att kroppens anpassningsförmåga förändras över tid sker också anpassningar vid akut arbete i syfte att motsvara situationens krav. Detta sker vid alla typer av situationer, i vardagen liksom i träningssituationen. Exempelvis kommer kroppens syrebehov och syreupptag öka automatiskt till följd av ett slalomåk då energibehovet under och i direkt anslutning till åket är betydligt större än vid startgrinden vilket märks genom framför allt en ökad andnings-/hjärtfrekvens.

## 5. Grundläggande fysiologi

### 5.1 Energigivande system

För att möjliggöra en kontraktion av en muskel krävs det att muskel har tillgång till adenosintrifosfat (ATP) vilken är en energirik förening bestående av en adenosin-molekyl samt tre inorganiska fosfatgrupper. ATP överför energi i kemisk form till biologiska processer som är nödvändiga för människans överlevnad.<sup>4</sup> ATP finns i alla celler och kan genom kemiska reaktioner nyttjas till andra energikrävande reaktioner men för att möjliggöra detta krävs emellertid att ATP spjälkas till ADP samt fosfat enligt nedanstående formel<sup>5</sup>. Mängden ATP som finns lagrad i muskulaturen är dock begränsad, ca 4-5 mmol/kg våt vikt.<sup>6</sup> Samtidigt är dess återbildning en förutsättning för liv varför en ständig återbildning måste ske, återbildningen av ATP kan ske med tillgång till syre vilket benämns som aerob metabolism samt utan tillgång till syre vilket benämns som anaerob metabolism.<sup>7</sup>



ATP kan återbildas genom tre olika energisystem:<sup>8</sup>

- Anaeroba alactacida energisystemet
- Anaeroba lactacida energisystemet
- Aeroba energisystemet

---

<sup>4</sup> Konditionsträning, i teori och praktik. Idrottens forskningsråd. (1993) Sveriges Riksidrottsförbund. Bohuslänningens Boktryckeri AB.

<sup>5</sup> Lännergren, J., Ulfendahl, M., Lundberg, T & Westerblad, H (2005) *Fysiologi*. Studentlitteratur, Lund.

<sup>6</sup> Eriksson B-O. Muscle metabolism in children--a review. *Acta Paediatr Scand Suppl.* 1980;283:20-8. Review.

<sup>7</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>8</sup> Ibid.

## 5.1 Anaeroba Alactacida Energisystemet - ATP-CrP nedbrytning:

ATP-CrP nedbrytning är en anaerob-alaktatisk process vilket innebär att den verkar genom icke-syrekrävande processer och dessutom är en icke-laktat bildande process. Systemet är begränsad i sin storlek men är samtidigt den snabbaste metoden för återbildning av ATP.<sup>9</sup> Processen är således en mycket värdefull energikälla vid maximala muskelarbeten med låg duration<sup>10</sup>. Hos en vuxen människa uppgår CrP – koncentrationen till ca 15-20 mmol/kg våt vikt<sup>11</sup>. Om ett maximalt arbete bibehålls i mer än ca 10 sekunder kommer inte ATP-CrP nedbrytningen längre kunna ansvara för den huvudsakliga energiproduktionen vilket innebär att återbildningen av ATP successivt kommer att ske genom anaerob spjälkning av kolhydrater. Spjälkningen av kolhydrater startar emellertid vid första sekund och övergången sker successivt.<sup>12</sup>



**Figur 4. Anaeroba Alactacida Energisystemet.** Innebär nedbrytning av ATP/CRP och betecknas som kroppens "raketsystem". Energisystemet innebär snabb energileverans (hög effekt) men har mycket låg kapacitet.

## 5.2 Anaeroba – Lactacida Energisystemet

Återbildningen av ATP i det glykolytiska systemet sker genom s.k. laktatiska processer och då genom nedbrytning av kolhydrater till pyruvat vilket omvandlas till laktat i och med avsaknaden av syre. Processen sker utanför mitokondrierna i muskelfibrernas cytoplasma. Liksom ATP-CrP nedbrytning är det glykolytiska systemet en process med en relativt hög

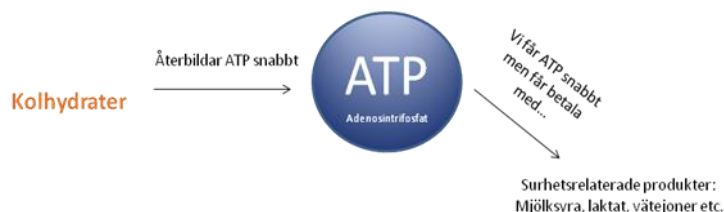
<sup>9</sup> Eriksson B-O. Muscle metabolism in children--a review. Acta Paediatr Scand Suppl. 1980;283:20-8. Review.

<sup>10</sup> Ross A, Leveritt M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. Sports Med. 2001;31(15):1063-82. Review

<sup>11</sup> Eriksson B-O. Muscle metabolism in children--a review. Acta Paediatr Scand Suppl. 1980;283:20-8. Review.

<sup>12</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

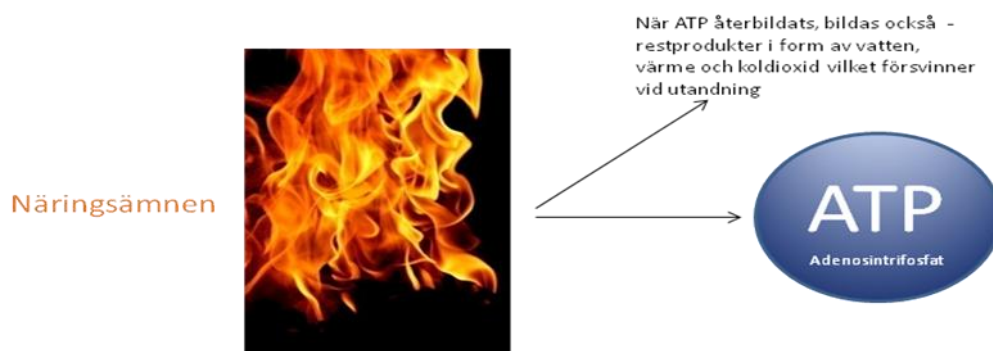
effekt medan den totala kapaciteten betecknas som låg<sup>13</sup>. Energisystemet står för den huvudsakliga återbildningen av ATP vid maximala arbeten med en duration på ca 10 – 60 sekunder, därefter kommer den huvudsakliga återbildningen av ATP att ske genom det Aeroba energisystemet.<sup>14</sup>



**Figur 5. Anaeroba Energisystemet.** Innebär spjälkning av kolhydrater i processen med att återbilda ATP för muskelarbete. Energisystemet innebär relativt snabb energileverans men i likhet med ovanstående energisystem kännetecknas det anaeroba systemet av relativt låg kapacitet. Vid energiproduktionen bildas mjölksyra/laktat och andra sårhetsrelaterade produkter vilket har viss negativ påverkan på muskelfunktionen.

### 5.3 Aeroba Energisystemet

**Kolhydratförbränning:** Kolhydratförbränning är en aerob process vilket innebär att återuppbyggnaden av ATP sker genom syrekrävande processer. Med tillgång till syre oxideras pyruvat till vatten och koldioxid. Vid långvarigt arbete med en varaktighet över 60 min kan en hög arbetsintensitet upprätthållas så länge kroppen har tillgång till glykogen som kan bidra till energiförsörjningen. Beroende på arbetsintensitet, träningsstatus och den mängd glykogen som finns lagrat i kroppen kommer längden för kolhydratförbränningen att variera. I jämförelse med de anaeroba processerna är kolhydratförbränning ett energisystem som visserligen har en lägre effekt men innebär samtidigt en mera ekonomisk metabolism med en betydligt större kapacitet.<sup>15</sup> Fettförbränning används vid mycket låga arbetsintensiteter och/eller vid situationer då kroppens glykogendepåer tömts vilket att fett kan användas som huvudsakligt substrat för återuppbyggnaden av ATP. I jämförelse med ovanstående energisystem kännetecknas fettförbränningen av än lägre effekt samt högre kapacitet.<sup>16</sup>

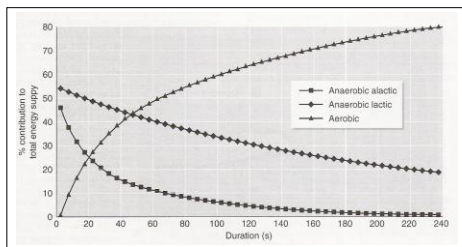


**Figur 6. Aeroba Energisystemet.** Innebär energiproduktion genom förbränning av näringsämnen. Förbränningsprocessen kräver syre vilket innebär framställning av restprodukter i form av bl. a. vatten, värme och koldioxid som till stor del försvinner vid utandning. Energisystemet innebär relativt långsam energiproduktion men i gengäld har systemet i jämförelse med övriga energisystem, den överlägset största kapaciteten.

## 5.4 Samarbete mellan kroppens energisystem

Inget av de tre energisystemen helt på egen hand täcka kroppens totala energiförsörjning.

Inget arbete kan utföras genom uteslutande anaerob eller aerob metabolism. Till exempel har studier visat att de aeroba energisystemen bidrar med ca 27 % av den totala energiproduktionen vid 20 sek maximalt sprintarbete och ca 13 % vid 10 sek sprintarbete<sup>17</sup>. Graden av delaktighet för de olika energisystemen ser olika ut beroende arbetsintensitet och duration, nedan redovisas energisystemens interaktion vid maximalt arbete (Fig. 7).<sup>18</sup>



**Figur 7: Energisystemens bidrag vid maximalt arbete.**  
De energigivande systemens interaktion och bidrag till den totala energileveransen vid maximalt arbete. Bild

## 5.5 Kontraktionsprocessen

Runt en skelettmuskel finns en s.k. muskelfascia gjord av bindväv. Vid skelettmuskelns ändrar fäster vanligtvis senor vilka i sin tur fäster i anslutande skelett på var sin sida om en led, vid en muskelkontraktion möjliggör detta en rörelse i leden. En skelettmuskel består till största del av muskelfibrer vilka är ordnade buntvis inuti muskeln. En muskelfiber innehåller i sin tur flera mindre komponenter s.k. myofibriller vilka är muskeln kontraktila delar. Myofibrillerna är uppbyggda av två kontraktila proteiner, actin och myosin. För möjliggöra en viljestyrd kontraktion av en skelettmuskel krävs att en nervimpuls skickas från hjärnan via ryggmärgen och anslutande nervceller. För en fortsatt överföring av nervsignalen från nervcell till anslutande muskelcell frisätts transmittorsubstansen acetylcholin till en s.k. motorändplatta. Väl framme vid muskelcellens membran sker en förändring av membranpotentialen och genom den s.k. natrium-kaliumpumpen ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) vilken har till uppgift att reglera  $\text{K}^+$  koncentrationen, överförs signalen in i muskelcellen via dess rörsystem, T-tubuli. Via T-tubuli skickas en signal till det Sarkoplasmatiska retiklet (SR) vilket aktiverar en frisättning av kalciumjoner ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i muskelcellen vilka binds till proteinet troponin. Frisättningen av  $\text{Ca}^{2+}$  blottlägger

<sup>17</sup> Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. J Appl Physiol. 1996 Mar;80(3):876-84.

<sup>18</sup> Gore, CJ (2000) Physiological tests for elite athletes. Campaign Human Kinetics. 2000.

aktinets bindningsställen vilket möjliggör en bindning till myosinets huvuden. Tillsammans bildar aktin och myosin muskelns minsta funktionella enhet, sarkomeren vilket är den del i skelettmuskeln som möjliggör själva kontraktionen och därmed en rörelse i en led. När nervsignalen upphört upphör också kontraktionen varvid SR pumpar tillbaka tidigare frisläppt  $Ca^{2+}$ . Detta arbete tillsammans med SR:s frisättning av  $Ca^{2+}$  och den process där actinfilamenten fäster på myosinets bindningsställen är samtliga energikrävande processer och kräver följaktligen ATP för att fungera.<sup>19</sup>

## 5.6 Motorisk enhet/Muskelfibrer

En motorisk enhet utgörs av nervceller i ryggmärgen och den motoriska nervtråd som från ryggmärgen förgrenar sig från några få till flera tusentals muskelfibrer som finns i kroppens olika muskler. Ju fler motoriska enheter som kopplas in vid ett arbete desto mer kraft kan också produceras.<sup>20</sup>

I människans skelettmuskulatur finns olika typer av muskelfibrer. Huvudsakligen delas fibertyperna in i kategorierna: långsamma muskelfibrer (typ I) & snabba muskelfibrer (typ II) vilka de senare brukar delas in i grupperna, typ IIa och typ IIb. Typ I fibrerna kännetecknas av en hög oxidativ kapacitet vilket innebär en god förmåga att oxidera substrat som fett och kolhydrater. Typ IIb fibrerna skiljer sig mest i jämförelse med de långsamma muskelfibrerna och kännetecknas av att kunna leverera energi snabbt och har följaktligen en hög glykolytisk förmåga. Typ IIa fibrerna beskrivs ha en högre oxidativ förmåga men en lägre glykolytisk förmåga i jämförelse med Typ IIb fibrerna (Tabell 1).<sup>21</sup>

Studier har visat att CrP koncentrationen vila är betydligt högre (ca 20 %) i typ II fibrer i jämförelse med typ I fibrer. Fiberrekryteringen vid arbete skiljer sig också åt mellan muskelfibertyperna och bygger på s.k. tröskelvärden för vilken stimuleringen av den elektriska impulsen måste överstiga för att aktivera en viss typ av muskelfiber. Gränsvärdena ser olika ut mellan muskelfibergrupperna, typ I fibrerna aktiveras först, därefter typ IIa och vid mycket höga aktiveringsnivåer aktiveras även de snabbaste muskelfibrerna typ IIb (Fig 8). I kontrast till detta kan också de mycket snabba muskelfibrerna rekryteras vid låga intensiteter men detta sker under förutsättning att muskulaturens andel av typ I fibrer tröttats ut vid

<sup>19</sup> Schantz, PG. Muskulaturens motoriska enheter och fibertyper. Dess egenskaper, rekrytering och plasticitet. Konditionsträning i teori och praktik. Idrottens forskningsråd. Sveriges Riksidrottsförbund.

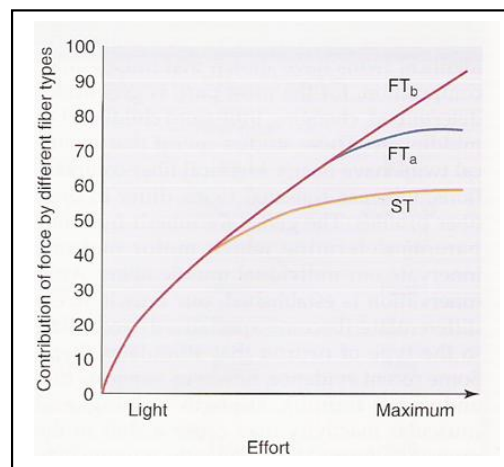
<sup>20</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>21</sup> Blomstrand, E, Gustavsson-Essén, B. *Aminosyranivåer i långsamma och snabba muskelfibrer – förändring under träning och återhämtning*. Svensk idrottsforskning 1 - 2008.

långvarigt arbete och därför behöver hjälp av typ II fibrerna för att bibehålla arbetsintensiteten.<sup>22</sup>

**Tabell 1. Muskelfibertypernas egenskaper: Låg = \* Medel = \*\* Hög = \*\*\***

	Typ I	Typ IIa	Typ IIb
Kontraktionshastighet	*	**	***
Kraftproduktion	*	**	***
Uthållighet	***	**	*
Oxidativa enzymer	***	**	*
Glykolytiska enzymer	*	**	***
Kapillärtäthet	***	**	*
Mitochondrie antal	***	**	*
ATPase aktivitet	*	**	***
Myoglobin	***	**	*
Motoriska enheter	*	**	***
Aktiveringströskel	*	**	***



**Figur 8. Fiberrekrutering i relation till arbetsintensitet.** Bild kopierad från Willmore & Costill.

## 5.7 Syrgastransporten – central/lokal kapacitet

Kroppens celler kräver syre för att fungera över tid. Syret finns, som vi känner till i luften men transporteras via andningen till organ och vävnader efter situationens behov.<sup>23</sup>

Som ett resultat av regelbunden uthållighetsträning förbättras vanligtvis den s.k. centrala kapaciteten. Till den centrala kapaciteten hör blod, lungor, hjärta och nedan följer en sammanfattning av de anpassningar vilka sker centralt till följd av regelbunden uthållighetsträning.<sup>24</sup>

## 5.8 Hjärta/Cirkulation

Hjärtats slagvolym x hjärtfrekvens utgör den s.k. minutvolym. Stigande arbetsintensitet innebär att hjärtats minutvolym ökar linjärt. Minutvolymen påverkas i mycket hög utsträckning av personens träningsstatus. En elitidrottare inom exempelvis längdskidåkning har betydligt större slagvolym (minutvolym) än en fysiskt inaktiv individ. Slagvolymens storlek påverkas av hjärtats fyllningsförmåga och storlek. Regelbunden uthållighetsträning medför därmed att hjärtats pumpkapacitet/slagvolym ökar – (hjärtfrekvensen minskar i vila)

<sup>22</sup> Sahlin K, Söderlund K, Tonkonogi M, Hirakoba K. Phosphocreatine content in single fibers of human muscle after sustained submaximal exercise. *Am J Physiol.* 1997 Jul;273(1 Pt 1):C172-8.

<sup>23</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>24</sup> Ibid.

vilket innebär en ökad kapacitet att tillföra syresatt blod till arbetande muskulatur. Ökning av hjärtats slagvolym är en mycket viktig anpassning som kroppen gör till följd av regelbunden uthållighetsträning. Hjärtats slagvolym anges som en ”svag länk” i den s.k. Syretransportkedjan.<sup>25</sup>

## 5.9 Lungor

Luftväxlingen/ventilationen i lungorna ökar i och med en ökad arbetsintensitet. Exempelvis ses detta vid jämförelse mellan vila och maximalt arbete då ventilationen ökar från ca 5-6 liter/min till ca 200 liter/min. Lungornas kapacitet ökar ej till följd av träning men muskulaturen kring bröstkorgen blir både starkare och uthålligare vilket har en positiv inverkan på både andningsdjup och maximal andningsfrekvens. Lungornas kapacitet brukar dock inte anges som en begränsande faktor i den s.k. ”Syretransportkedjan”.<sup>26</sup>

## 5.10 Blod

Blodvolymen hos en normal individ i vuxen ålder uppgår normalt till ca 4-6 l. Till följd av regelbunden uthållighetsträning ökar blodvolymen - med flera liter i vissa fall (7-9 l), vilket innebär att blodets absoluta hemoglobinhalt ökar. Hemoglobinet binder syret till blodet och ansvarar även för transporten av syret till muskelcellen, ett ökat HB-värde har därmed en positiv inverkan på prestationsförmågan. Ökad blodvolym innebär också ett ökat tryck vilket innebär effektivare påfyllnad av blod i hjärtat vilket medför en effektivare syretransport till arbetande muskulatur.<sup>27</sup>

Till den s.k. lokala kapaciteten hör muskulaturen samt tillhörande system vilka ansvarar för upptag, användande och till viss del borttransport av syre/näringsrikt och syre/näringsfattigt blod. Blodets väg från hjärtat till cellerna i kroppens muskulatur går via kroppspulsådern vilken förgrenar sig till fler och mindre blodbanor, s.k. artärer. Framme vid muskelcellen tar de s.k. kapillärerna vid vilka är kroppens minsta blodkärl och den plats där syrgasutbytet sker.

28

---

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> Ibid.

<sup>27</sup> Ibid.

<sup>28</sup> Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

## 5.11 Kapillärer/Mitokondrier:

Till följd av regelbunden uthållighetsträning ökar kapillärtätheten vilket har en mycket positiv inverkan på syrgasutbytet och därmed en persons uthållighetsförmåga.

Syrets väg genom kapillärerna leder fram till cellernas ”kärnkraftverk” mitokondrierna. I mitokondrierna förbränns näringsämnen i syfte att återbilda energi i form av ATP. Till följd av regelbunden uthållighetsträning ökar både mitokondriernas storlek samt antalet mitokondrier vilket har en mycket positiv inverkan uthållighetsförmågan. Anpassningarna ovan leder också till att kroppen lär sig att i större utsträckning nyttja fett som bränsle till muskelarbete och återbildning av ATP. Musklerna kan då spara på kolhydraterna vilka används i större utsträckning vid högre arbetsintensiteter vilket är en oerhörd fördel i de flesta av våra klassiska uthållighetsidrotter.<sup>29</sup>

Förbättrad ”arbetsekonomi” är också det en mycket viktig anpassning som görs till följd av regelbunden uthållighetsträning. Arbetsekonomi beskriver rörelsetekniken och med det menas ”syrekostnaden per kg/kroppsvikt vid en given arbetsintensitet”. Med en bättre teknik kommer musklerna att arbeta effektivare vilket innebär att kroppens energidepåer varar längre vilket också motverkar trötthet i form av bibehållen arbetsintensitet och/eller kraftutveckling.<sup>30</sup>

## 5.12 Enzymer:

Enzymer är proteiner som bildas i kroppens celler och har till uppgift att påskynda kemiska reaktioner som vid t ex. nedbrytning av kolhydrater, fett eller protein under arbete men svarar också för uppbyggnaden av kroppens olika cellstrukturer.<sup>31</sup> Enzymer finns i tusentals i kroppen och är specifika så till vida att kemiska reaktioner kräver specifika enzymer. De oxidativa enzymerna bidrar till återbildning av ATP genom att påskynda nedbrytningsprocesser av substrat samt ökar hastigheten av den aeroba metabolismen. Glykolytiska enzymer fungerar på liknade sätt men har till uppgift att påskynda återbildning av ATP som sker genom icke – syrekrävande processer.<sup>32</sup>

---

<sup>29</sup> Ibid.

<sup>30</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>31</sup> Konditionsträning, i teori och praktik. Idrottens forskningsråd. (1993) Sveriges Riksidrottsförbund. Bohuslänningens Boktryckeri AB.

<sup>32</sup> Jansson E, Dudley GA, Norman B, Tesch PA. Relationship of recovery from intensive exercise to the oxidative potential of skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*. 1990 May;139(1):147-52. PMID: 2356745

Aktiviteten av både oxidativa och glykolytiska enzymer har visat sig öka efter en period av träning<sup>33</sup>. Enzymaktiviteten ser också olika ut i långsamma respektive snabba muskelfibrer, till exempel har studier visat på 1.5-2 gånger så hög aktivitet av oxidativa enzymer i muskelfibrer av Typ I medan aktiviteten av glykolytiska enzymer visat sig vara betydligt högre i fibertyp II. Att mäta all enzymaktivitet vore mycket tidskrävande, studier har dock kunnat visa på tydliga korrelationer mellan en hög aktivitet av vissa enzymer, s.k. representativa enzymer och flera funktionella mått som används inom idrottsforskning som markörer för att beskriva en persons prestationsförmåga.<sup>34</sup>

### 5.13 Buffertkapacitet

Vid högintensiva arbetsbelastningar som i huvudsak kräver återbildning av ATP genom anaerob metabolism reduceras pyruvat till laktat vilket ackumuleras i blodet och i arbetande muskulatur.<sup>35</sup> I samband med anaerob metabolism ökar också mängden vätejoner (H<sup>+</sup>) vilket innebär att muskelns pH-värde sjunker. Om muskelns pH-värde sjunker för lågt och under 6.4 klarar inte energisystemen längre av att bryta ner glykogen till fortsatt muskelarbete vilket leder till en försämrad arbetsmiljö för muskelns kontraktila delar och en försämrad muskelfunktion som följd. Genom den s.k. buffertkapaciteten, vilket innebär en ökad neutralisering av vätejoner i arbetande muskulatur kan tiden till utmattning vid högintensiva arbeten förlängas.<sup>36</sup> Buffertkapaciteten har visat sig öka till följd av träning som huvudsakligen aktiverar den anaeroba metabolismen.<sup>37</sup>

### 5.14 Maximalt Syreupptag

Beroende av aktivitet kommer kroppens celler kräva olika mängd syre vilket innebär att syreupptaget i vila är mindre än vid löpning motsvarande 10 km/h. I vila uppgår syreupptaget i genomsnitt till ca 1/5 av en liter, vid en rask promenad ökar följaktligen syreupptaget och uppgår till ca 1-1.5 l/min. Den maximala mängden syre som kroppen klarar av att omsätta till energi utgör det ”maximala syreupptaget” och kan hos elitidrottare inom exempelvis rodd

---

<sup>33</sup> Barnett C, Carey M, Proietto J, Cerin E, Febbraio MA, Jenkins D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *J Sci Med Sport*. 2004 Sep;7(3):314-22.

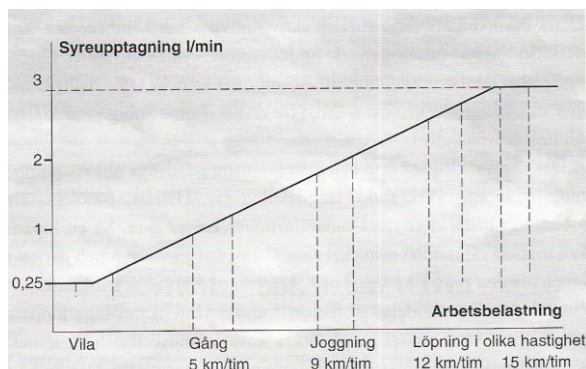
<sup>34</sup> Blomstrand, E, Gustavsson-Essén, B. *Aminosyranivåer i långsamma och snabba muskelfibrer – förändring under träning och återhämtning*. Svensk idrottsforskning 1 - 2008.

<sup>35</sup> Lännergren, J., Ulfendahl, M., Lundberg, T & Westerblad, H (2005) *Fysiologi*. Studentlitteratur, Lund.

<sup>36</sup> Bangsbo, J. *Praktiska synpunkter på fotbollsträning. Konditionsträning i teori och praktik*. Idrottens forskningsråd. Sveriges Riksidrottsförbund.

<sup>37</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

uppgå till 5-7 liter/min. Det maximala syreupptaget kan också uttryckas i relation till kg/kroppsvikt (testvärde) vilket är relevant inom idrotter där kroppsmassan förflyttas genom exempelvis löpning. Därav ses tydliga skillnader i kroppskomposition mellan löpare och roddare, idrotter som båda vanligtvis uppnår mycket höga syreupptagningsvärden. Mätningar av maximalt syreupptag görs både i laboratorier där utandningsluften samlas och mäts men kan också genomföras genom fälttester (Coopertest etc.) vilket innebär att man genom löptiden beräknar det maximala syreupptaget.<sup>38</sup>



Figur 9. Syreupptag i relation till given löphastighet.

Bild kopierad: Träna din kondition, Sisu Idrottsböcker. A. Forsberg.

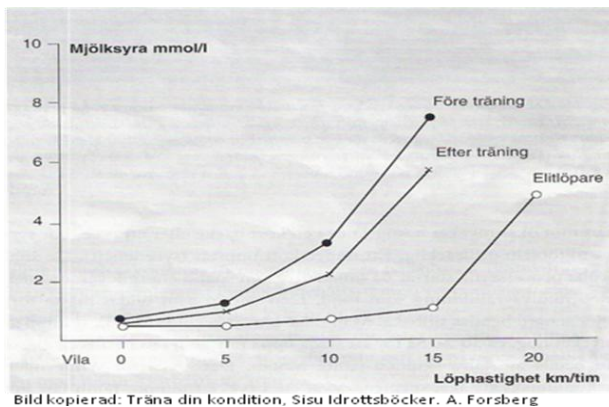
## 5.15 Mjölksyratröskel

Mjölksyratröskel är ett vanligt förekommande begrepp inom såväl testmetodik som uthållighetsidrotter. Mjölksyra/laktat bildas vid anaerob lactacid energiproduktion och den s.k. ”tröskeln” definieras som den nivå där produktionen av mjölksyra överstiger borttransporten av densamma. Halten mjölksyra mäts vanligtvis i blodet och uttrycks i millimol/liter blod (mmol/l). 4 mmol/l sammanfaller med den punkt där produktionen av mjölksyra överstiger borttransporten vilket innebär att fortsatt och kontinuerligt arbete över ”tröskeln” innebär ackumulering av mjölksyra. Ansamling av mjölksyra och vätejoner (lågt ph värde) i muskeln/muskelcellen påverkar muskelfunktionen negativt.

Regelbunden uthållighetsträning innebär att ”tröskeln” flyttas – vilket möjliggör högre betningsintensitet under längre tid vilket figuren nedan illustrerar.<sup>39</sup>

<sup>38</sup> Ibid.

Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta



**Figur 10. Laktatproduktion vid arbete.**

Laktathalt uppmätt i blodet vid givna löphastigheter.

## 5.15 Anaerob kapacitet & effekt

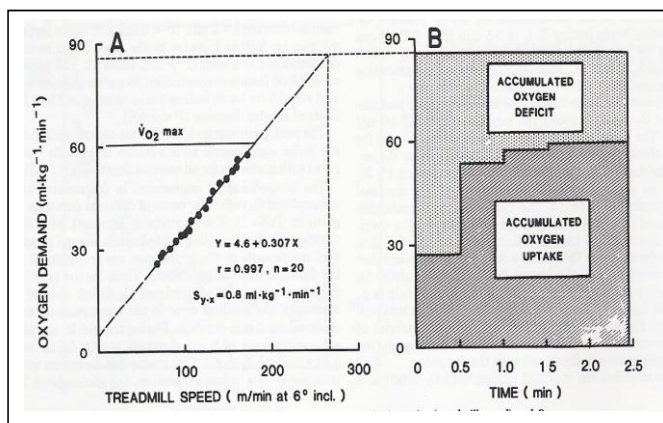
Begreppet anaerob effekt indikerar den hastighet för vilken de anaeroba processerna kan återbilda ATP medan den anaeroba kapaciteten är ett mått för den totala mängden ATP som kan återbildas genom de anaeroba processerna<sup>40</sup>. Ett frekvent förekommande test för att mäta den anaeroba effektutvecklingen är det supramaximala cykeltestet Wingate (WAnT). Vid ett standardutförande av WAnT utförs ett supramaximalt arbete under 30 sek med en belastning som motsvarar försökspersonens vikt, ålder, fysiska status och kön. Testet kan genomföras med benen eller armarna. Effektutvecklingen mäts i watt och registrerar den högsta uppmätta effektutvecklingen under 5 sammanhängande sekunder (PP) samt den genomsnittliga effektutvecklingen under testets 30 sek (MP). Den totala effektutvecklingen under 30 sek har beskrivits indikera en persons anaeroba kapacitet.<sup>41</sup>

Den anaeroba kapaciteten kan också bestämmas genom att använda den s.k. MAOD-metoden (maximal accumulated oxygen deficit). Metoden syftar till att beräkna skillnaden mellan syrekravet vid ett bestämt arbete och den faktiska mängden syre som konsumeras. Metoden bygger dock på vissa antaganden då energikostnaderna vid olika arbetsbelastningar måste vara kända för att möjliggöra en beräkning av den anaeroba kapaciteten. Att beräkna energikostnaden för att utföra ett arbete vid submaximala belastningar där det s.k. steady-state värdet för syreupptag indikerar den faktiska energikostnaden är relativt enkelt. Vid supramaximala belastningar är detta inte längre möjligt varför kostnaden för att utföra ett arbete på den typen av belastningar då måste extrapoleras. Genom att anta att energikostnaden för att utföra ett supramaximalt arbete är densamma som vid ett submaximalt arbete finns

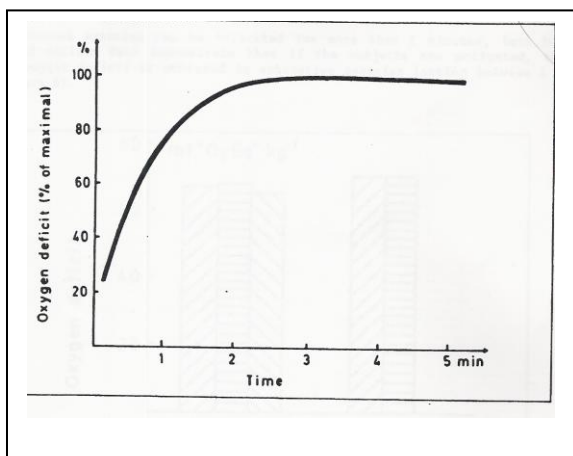
<sup>40</sup> Saltin B. The physiological and biochemical basis of aerobic and anaerobic capacities in man: effect of training and range of adaptation. An Update on Sports Medicine (Proceedings from the Second Scandinavian Conference in Sports Medicine, Soria Moria, Oslo, Norway, March 9-15,

<sup>41</sup> Oded B-O, Omri I. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. Med Sci Sports Exerc. 1986 Jun;18(3):264-9.

risker att energikostnaden vid supramaximala arbeten underskattas (Fig. 11). För att uppnå ett värde som motsvarar den totala anaeroba kapaciteten har forskare hävdat att tester i syfte att fastställa dess värde bör pågå ca 2-3 min (Fig. 12). Ett kortare test kan innebära att hela den anaeroba kapaciteten inte kommer att utnyttjas utan istället ge ett mått på den hastighet för vilken det glykolytiska och det alactatiska energisystemet kan återbilda ATP.<sup>42</sup>



**Figur 11. Principiellt tillvägagångssätt för bestämning av O<sub>2</sub>-skuld. A:** Samband mellan arbetsintensitet och O<sub>2</sub>-krav genom extrapolering. **B:** Ackumulerad O<sub>2</sub>-skuld beräknat som skillnaden mellan ackumulerad O<sub>2</sub>-krav och ackumulerad O<sub>2</sub>-upptag vid arbete. Bild kopierad från Medbo.



**Figur 12. Anaerob metabolism vid maximalt arbete. Andel utnyttjad anaerob kapacitet vid högintensivt arbete i förhållande till tid. Bild kopierad från Saltin. (61).**

<sup>42</sup> Saltin B. The physiological and biochemical basis of aerobic and anaerobic capacities in man: effect of training and. range of adaptation. An Update on Sports Medicine (Proceedings from the Second Scandinavian Conference in Sports Medicine, Soria Moria, Oslo, Norway, March 9-15,

## 5.16 Blodprov

Blodprover i samband med forskningsstudier inom sjukvården och idrotten är mycket vanligt förekommande, inom sjukvården används blodprover främst för att utreda sjukdomar. Mängden blod som vanligtvis behövs för att kunna genomföra en efterföljande analys är relativt liten och kan tas från både ven och artär, ofta från fingertoppar, örsnibbar eller armveck. Vanligt förekommande inom idrottsforskning är också mätning av blodlaktat före, under och efter utfört arbete. Genom att använda blodlaktat som markör kan den aktive dels ges en indikation på hur kroppen svarat på träningen och vara till hjälp vid kommande träningsplaneringar i syfte att justera exempelvis arbetsintensitet då laktatproduktion under arbete har visat sig korrelera väl med uthållighetsprestationer.<sup>43</sup> Laktathalten i blodet vid vila uppgår till ca 1 mM och ökar vid arbete. Laktat produceras genom anaerob metabolism i arbetande muskulatur vilket innebär att det tar en viss tid innan laktatet nått blodbanan. Följaktligen innebär detta att halten laktat är lägre i blodbanan i jämförelse med arbetande muskulatur.<sup>44</sup>

## 5.17 Muskelbiopsi

Genom ett ingrepp med en s.k. muskelbiopsinål görs det möjligt att avlägsna en mindre mängd muskelvävnad hos levande personer som sedan kan användas vid efterföljande analyser. Inom idrottsforskning studeras vanligtvis muskelfibersammansättning, glykogenkoncentration, enzymaktivitet etc. Det faktum att analysmetoden innebär ett ingrepp och därför medför vissa etiska betänkligheter har inneburit att antalet forskningsstudier som innefattar muskelbiopsier på friska barn i samband med fysiskt arbete är begränsade.<sup>45</sup>

## 5.18 31P-nuclear magnetic resonance spectroscopy (31P-MRS)

31P-MRS betecknas som en säker icke-invasiv undersökningsmetod som lämpar sig väl för undersökningsgrupper bestående av både barn och vuxna. Utrustningen är konstruerad för att skicka magnetiska impulser genom huden och via den vätska som finns i vävnaden. Impulsen kan registrera aktiviteten av en eller flera sedan tidigare förutbestämda parametrar vid det område på kroppen som syftar till att undersökas. T ex. kan aktivitet av CrP, pH-värde och

---

<sup>43</sup> Gore, CJ (2000) Physiological tests for elite athletes. Campaign Human Kinetics. 2000.

<sup>44</sup> Lännergren, J., Ulfendahl, M., Lundberg, T & Westerblad, H (2005) *Fysiologi*. Studentlitteratur, Lund.

<sup>45</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

ATP före, under och efter arbete utgöra några av dessa parametrar vilket i förlängningen kan leda till analyser av både den oxidativa liksom den glykolytiska kapaciteten.<sup>46</sup>

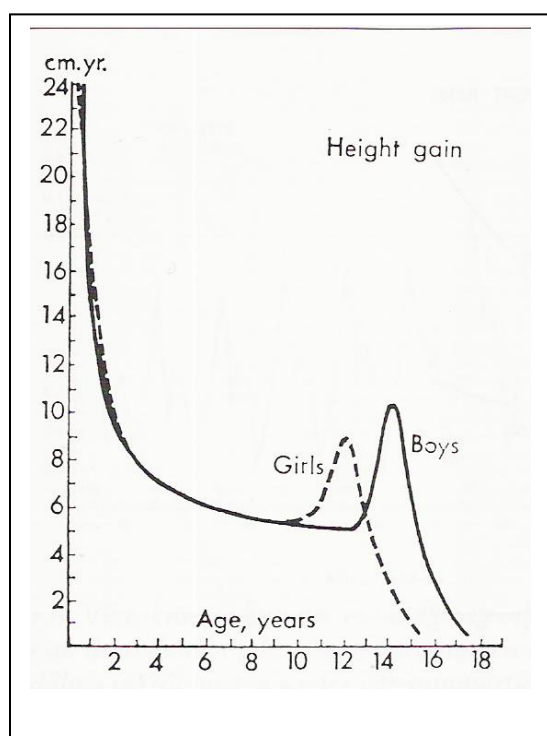
---

<sup>46</sup> Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM. 31P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 1993 May;74 (5):2214-8.

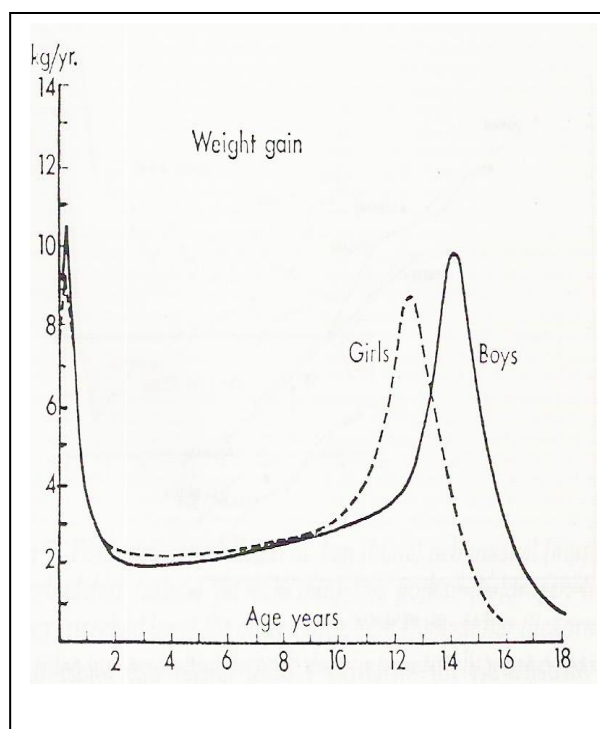
## 6. Barn och ungdomars utveckling

Antalet faktorer som påverkar en idrottsprestation åtskilliga, mentala faktorer, genetik, arv, psykosociala faktorer, kosthållning, teknik, motorik, träning för att nämna några. Om den idrottsliga prestationen dessutom sätts i ett sammanhang tillsammans med barn och ungdomar spelar ofta graden av tillväxt och mognad en betydande roll. Med tillväxt avses en ökning av kroppens storlek eller något av dess delar medan mognad avser att kroppen börjar anta mera vuxenlika proportioner sett ur t ex. reproducerbarhetssynpunkt och sexuell mognad.

Tillväxthastigheten ser under de inledande 7-9 åren relativt lika ut mellan flickor och pojkar, därefter sker en betydande acceleration av tillväxten hos flickor som också når sin högsta tillväxthastighet och fysiska mognad ca två år tidigare än pojkar vilket åskådliggörs i figurerna nedan.



**Figur 13. Tillväxthastighet hos barn och ungdomar.**  
Förändring i cm/år för flickor streckad linje och pojkar heldragen linje. Bild kopierad från Eriksson. (1990)



**Figur 14. Ökning av kroppsvikt kg/år hos barn och ungdomar.** Flickor streckad linje, pojkar heldragen linje. Bild kopierad från Eriksson. (1990)

Övergångsperioden från barn till vuxen benämns som puberteten och är den period där kroppen genom ökar sin produktion av könshormon vilket driver kroppens utveckling i en kvinnlig respektive manlig riktning. Tillväxten påverkas således i hög grad av den ökade produktionen av könshormon och förklarar den ökande tillväxthastigheten vilken för övrigt

benämns som den prepubertala tillväxtspurten och inträffar innan det att toppen för puberteten nås. Tillväxthastighetens topp avsett för längdökningar benämns vanligtvis som ”*peak height velocity*” eller tillväxtspurt, samma princip gäller även för viktökningshastigheten. Efter passerad tillväxtspurt avtar tillväxthastigheten för att efter några år avta helt då tillväxten avslutats. I samband med att barnet växer och börjar anta mera vuxenlika proportioner sker också en förändring av kroppssammansättningen som vanligtvis ser olika ut vid en jämförelse mellan könen. Hos pojkar sker en accelererande ökning av prestationsförmågan, samma ökning av prestationsförmågan sker vanligtvis inte hos flickor. Förklaringen till dessa skillnader är att pojkar i huvudsak, på grund av den ökade produktionen av det manliga könshormonet testosteron får en betydande ökning av fettfri vikt under puberteten, dvs. ökad muskelmassa medan flickors viktökning i huvudsak består av en ökad fettmängd. Såväl den fysiska prestationsförmågan som kroppens funktioner och dimensioner genomgår förändringar som beräknas till ökningarna motsvarande 100-200 % mellan 10-20 års ålder. Förändringarna belyser ett komplicerat område inom idrottsforskning härrörande barn och ungdomar, nämligen svårigheten med att fastställa eventuell effekt av träning kontra tillväxt och normal åldersutveckling. Stora individuella variationer föreligger emellertid för när tidpunkten för puberteten respektive tillväxtspurten inträffar. Spridningen för tidpunkten av pubertetsutvecklingen kan vara stor hos flickor men betecknas som än större hos pojkar. I och med att flickor får sin första menstruation är det också lättare att fastslå flickornas pubertetsutveckling, detta till skillnad mot pojkar vars könsmognad kan beskrivas som en mera successiv process. Den kronologiska åldern följer därmed inte den biologiska ålderns utveckling vilket i praktiken innebär att det mellan jämnåriga ungdomar kan föreligga flera års skillnader sett ur ett biologiskt hänseende.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Eriksson B-O (1990) *Barns tillväxt och mognas och dess konsekvenser för idrotten. Barn, ungdom och idrott*. Idrottens forskningsråd – Sveriges riksidrottsförbund. Sista ordet AB. ISBN: 91-87154-07-02.

## 6.1 Fysisk Utveckling

### 6.1.1 Skelett

Under uppväxten sker en kraftig tillväxt av skelettet. Skelettet är en formbar vävnad och i barn och ungdomsåren uppgår förändringarna i skelettet till mellan 10 – 20 % och avser både skelettets täthet och längd. Benmassan kan alltså förändras och påverkas av belastning, ett ben som belastas kommer att anpassa sig efter de krav som ställs och öka dess hållfastighet. Barn och ungdomsåren är därför en mycket viktig period i livet sett ur ett ”skelettperspektiv” och kräver allsidig och moderat belastning. Vid ca 20-30 års ålder når skelettet sin absoluta topp avseende styrka och täthet, s.k. ”*peak-bone mass*” vilket innebär att tiden som följer utgörs av remodellering/ underhåll av vävnaden.<sup>48</sup>

### 6.1.2 Nervsystem

Kroppens utveckling styrs av nervsystemet och pågår upp till ca 18 års ålder. Utvecklingen sker relativt snabbt och vid perioden motsvarande 10 års ålder beräknas hela 80-85 % av nervsystemet vara färdigutvecklat. Nervsystemets kapacitet påverkas till stor del av de s.k. myelinskidor som omsluter de nervtrådar som skickar och tar emot information genom elektriska impulser. Under de första levnadsåren är myelinskidorna underutvecklade vilket innebär att nervimpulserna skickas långsammare och med sämre precision. I takt med att myeliniseringen ökar möjliggörs också flera och mer komplexa rörelser än tidigare.<sup>49</sup>

### 6.1.3 Hjärta/Lungor

Hjärtats storlek står i relation till kroppsstorlek vilket innebär att barn i jämförelse med vuxna har mindre hjärtan och följaktligen också lägre slagvolym. Under uppväxten sker en kraftig ökning av såväl blodvolym, slagvolym, blodtryck samt den ventilatoriska kapaciteten. En viss kompensation av mindre hjärtan och lägre slagvolym sker genom främst genom en ökad hjärtfrekvens samt en ökad förmåga att uppta syre under fysisk aktivitet.<sup>50</sup>

---

<sup>48</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>49</sup> Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

<sup>50</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

## 7. Resultat

### 7.1 Anaerob Uthållighet - i relation till mognad & tillväxt

Studier har visat att både prepubertala pojkar och flickor i jämförelse med individer vilka passerat PHV har en betydligt lägre förmåga att utföra arbeten som i huvudsak kräver återbildning av ATP genom anaerob metabolism. De ålderrelaterade skillnaderna i prestationsförmågan tycks kvarstå oavsett om det handlar om att utföra korta eller längre högintensiva arbeten och vare sig resultaten uttrycks i absoluta eller relativa termer. I en omfattande sammanställning av anaeroba prestationsförändringar i relation till kronologisk ålder noterades en tydlig ökning av både MP och PP uppmätt genom WAnT ses under livets tre inledande årtionden (Fig.15). De högsta uppmätta värdena gällande benen registrerades vid det tredje årtiondet medan armarnas högsta uppmätta värden registrerades vid det andra årtiondet. Under livets andra årtionde ökade benens förmåga att utveckla PP med ca 35 W/år och under samma period beräknades MP öka med ca 30W/år. Resultatet visar också att prepubertala barn i genomsnitt presterar 30 % lägre värden av MP & PP med benen och mindre än 30 % med armarna uttryckt i absoluta tal i jämförelse med unga vuxna.<sup>51</sup>

Flertalet studier har argumenterat för att den anaerob kapacitet är starkt sammankopplat med en hög grad av tillväxt och mognad.<sup>52 53</sup>

B.la. har studier uppvisat korrelationer mellan prestation vid högintensivt arbete och mognad/tillväxt, blodlaktat produktion, uppmätt testosteronhalt i blodet samt en större area av typ II fibrer.<sup>54 55</sup>

I en studie av Eriksson et.al. undersöktes den laktacida kapaciteten i arbetande muskulatur vid submaximala och maximala belastningar i åldersgrupperna 11.6, 12.6, 13.5, & 15.5 år.

Resultatet jämfördes med värden från en undersökningsgrupp bestående av vuxna. Resultatet

---

<sup>51</sup> Oded B-O, Omri I. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 1986 Jun;18(3):264-9.

<sup>52</sup> Doré E, Bedu M, França NM, Van Praagh E. Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *Eur J Appl Physiol.* 2001 May;84(5):476-81

<sup>53</sup> Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Van-Praagh E, Coudert J. Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;62(3):151-6.

<sup>54</sup> Eriksson B-O, Saltin B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg.* 1974;28 suppl:257-65.

<sup>55</sup> Mero A. Blood lactate production and recovery from anaerobic exercise in trained and untrained boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;57(6):660-6.

visade på låga submaximala och maximala blod/- muskel laktatkoncentrationer i den yngsta åldergruppen, med en tilltagande ökning av laktatkoncentration med stigande ålder. En liknande trend sågs också vid en jämförelse av glykogenförbrukning vid olika arbetsbelastningar mellan åldersgrupperna då den yngsta gruppen förbrukade den minsta mängden glykogen. Samma studie studerade också ATP och CrP koncentrationer i vila hos dessa åldersgrupper och fann att ATP koncentrationerna inte skiljde sig markant åt mellan grupperna, ca 5 mmol/kg våt vikt. CrP koncentrationen registrerades som relativt lika mellan åldersgrupperna, dock uppvisades en mindre ökning med stigande ålder.<sup>56</sup> Likaså har studier noterat skillnader i muskelfibersammansättning mellan barn och vuxna.<sup>57</sup>

Att den glykolytiska metabolismen skulle vara starkt sammanlänkad med tillväxt och mognad har dock ifrågasatts av ett flertal studier<sup>58 59</sup>. I en omfattande studie av Cumming et al. undersöktes laktatkoncentrationer i blodet till följd av maximalt arbete hos 309 barn och ungdomar i åldrarna 4-20 år. Resultatet visade b. la. att 4-5 år gamla pojkar och flickor till följd av högintensivt arbete noterats för blodlaktathalter på 9.5 mmol l<sup>-1</sup><sup>60</sup>. Fortsatt har undersökningar jämfört blodlaktat-koncentrationer mellan prepubertala barn och postpubertala ungdomar och argumenterat för att skillnader i uppmätt blodlaktat till följd av högintensivt arbete inte nödvändigtvis beror på en mindre producerad mängd laktat utan istället visar på skillnader i förmågan att eliminera laktat<sup>61</sup>. Liknande resultat fann också Hebestreit et.al där man också studerade återhämtning till följd av högintensivt arbete hos olika åldersgrupper. Den yngsta gruppen noterades för den snabbaste återhämtningen<sup>62</sup>. Studier som undersökt och jämfört prepubertala barns muskelfibersammansättning och enzymaktivitet med unga vuxna och vuxna har emellertid noterat åldersrelaterade skillnader vilka presenteras nedan i (Fig 16, 17)<sup>63</sup>, den relativt låga glykolytiska enzymaktiviteten har

---

<sup>56</sup> Eriksson B-O, Saltin B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. Acta Paediatr Belg. 1974;28 suppl:257-65.

<sup>57</sup> Jansson, E. *Vilken roll spelar graden av tillväxt/mognad för barn och ungdomars idrottsliga prestationsförmåga?* Svensk idrottsforskning 1-2007.

<sup>58</sup> Beneke R, Hütler M, Leithäuser RM. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. Eur J Appl Physiol. 2007 Dec;101(6):671-7. Epub 2007 Aug 21.

<sup>59</sup> Cumming GR, L Hastman, J McCourt, S McCullough. High serum lactate do occur in young children after maximal work. Int. J Sports medicine. 1980: 66-69. Georg thieme verlag Stuttgart. New York.

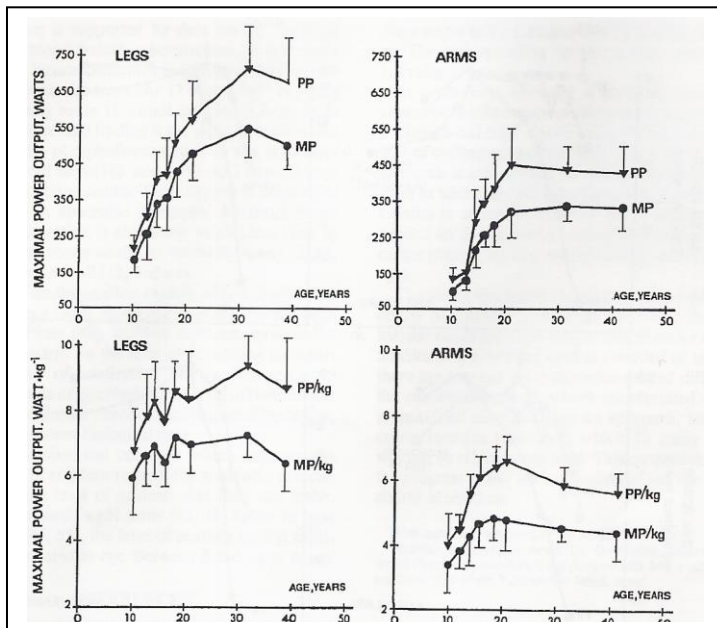
<sup>60</sup> Ibid.

<sup>61</sup> Beneke R, Hütler M, Jung M, Leithäuser RM. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. J Appl Physiol. 2005 Aug;99(2):499-504.

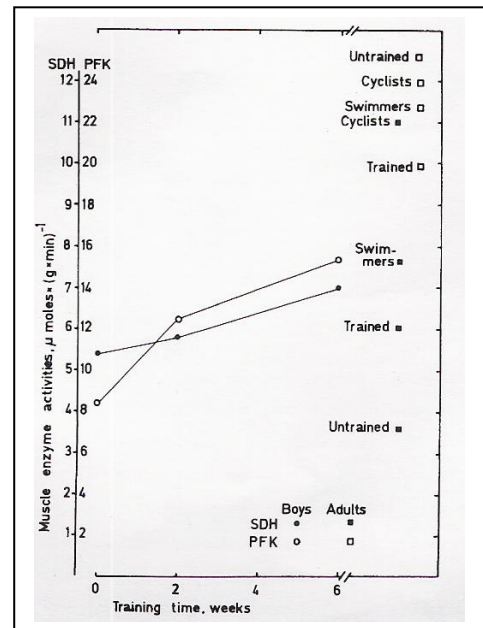
<sup>62</sup> Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. J Appl Physiol. 1993 Jun;74(6):2875-80.

<sup>63</sup> Jansson, E. *Vilken roll spelar graden av tillväxt/mognad för barn och ungdomars idrottsliga prestationsförmåga?* Svensk idrottsforskning 1-2007.

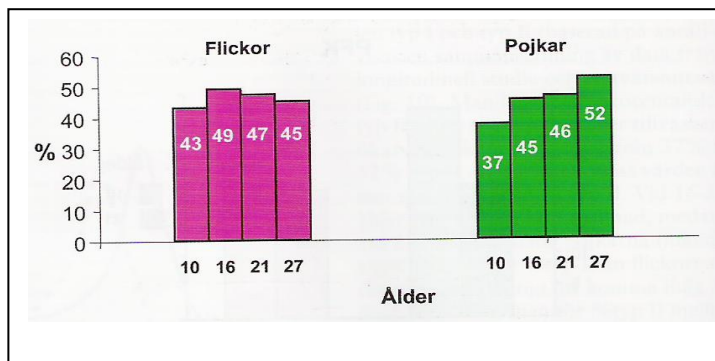
dock ifrågasatts av andra studier vilka funnit enzymnivåer hos barn och ungdomar som står i paritet med vuxnas.<sup>64</sup>



Figur 15. Anaerob prestation och ålder. 306 män som genomfört WAnT med armar och ben. Vertikala linjer anger värden ± 1SD. Bild kopierad från Oded Bar-Or.



Figur16.. Enzymaktivitet hos barn och vuxna. Fosfofruktokinas (PFK) & Succinatdehydrogenas (SDH) – aktivitet hos 11 åriga pojkar i jämförelse med tränade och otränade vuxna. Bild kopierad av



Figur17. Muskelfiberkomposition hos pojkar och flickor. Uttryckt i % av andelen Typ II fibrer i lårkulatur 10-27 år. Bild kopierad från Jansson. Et al.

<sup>64</sup> Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents. Bull Eur Physiopathol Respir. 1982 Jan-Feb;18 (1):65-74.

## 7.2 Anaerob Uthållighet – effekt av träning innan tillväxtspurten

Antalet studier på prepubertala barn som deltagit i longitudinella undersökningar med avsikt att utvärdera den anaeroba kapaciteten till följd av träning är begränsade. Detta kan i huvudsak förklaras med de etiska betänkligheter som många metodologiska undersökningsmetoder som används på vuxna medför, och därför ej kan användas på friska barn och ungdomar.<sup>65</sup>

I en studie av Baquet et al. delades 46 unga pojkar och 54 flickor ( $9.7 \pm 0.8$  år) in i en kontrollgrupp och en interventionsgrupp med 53 och 47 barn i respektive grupp. Undersökningsgruppen tränade korta och högintensiva sprintlöpningar vid en intensitet motsvarande 100-130 % av maximal aerob hastighet, två träningstillfällen/vecka á 30 min under 7 veckor. Resultatet visade på signifikanta förbättringar ( $P < 0.001$ ) till följd av träning hos undersökningsgruppen vid testparametrarna 20 m sprintlöpning samt stående längdhopp. Kontrollgruppen uppvisade ingen signifikant förbättring vid någon av testparametrarna.<sup>66</sup>

I en studie av Eriksson et. al utförde fem unga pojkar ( $11.2 \pm 0.1$  år) under 6 veckor 3 tillfällen/vecka ett ergometercykelarbete med en belastning motsvarande 70-85 % av deras individuella maximala syreupptag ( $V_{O2max}$ ) med en trampfrekvens på 60 rpm. Minst 20 min på ovanstående belastning genomfördes per tillfälle (medelvärde: 29.8min – spridning: 20-50 min). Resultatet till följd av träning visade på en 8 % ökning ( $P < 0.01$ ) av  $V_{O2max}$  samt en 30 % ökning ( $P < 0.05$ ) av aktiviteten hos det oxidativa enzymet succinatdehydrogenase (SDH) i vila ( $5.43 - 7.01 \text{ umol} \times (\text{g} \times \text{min})^{-1}$ ). Resultatet kunde också påvisa en signifikant ökning ( $P < 0.01$ ) på 83 % av det glykolytiska enzymet fosfofruktokinas (PFK) i vila till följd av träning ( $8.42-15.41 \text{ umol} \times (\text{g} \times \text{min})^{-1}$ ).<sup>67</sup>

Under fyra månader och under mera varierande träningsformer genomförde åtta unga pojkar ( $11.5 \pm 0.24$  år) ett träningsprogram innehållandes gymnastikövningar, olika typer av bollsporter, intervallövning samt längdskidåkning. Totalt genomfördes 34 träningstillfällen/á 60 min. Resultatet av undersökningen uppvisade signifikanta öknings ( $P < 0.01$ ) av  $V_{O2max}$

---

<sup>65</sup> Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. Sports Med. 2000 Dec;30(6):405-22. Review

<sup>66</sup> Baquet G, Guinhouya C, Dupont G, Nourry C, Berthoin S. Effects of a short-term interval training program on physical fitness in prepubertal children. J Strength Cond Res. 2004 Nov;18(4):708-13.

<sup>67</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. Acta Paediatr Belg. 1974;28 suppl:245-52.

med 0.28 l/min liksom en ökad mängd ( $P<0.01$ ) ATP ( $4.3 - 4.8 \text{ mmol} \times \text{kg}^{-1}$ ) och CrP ( $14.5 - 20.2 \text{ mmol} \times \text{kg}^{-1}$ ) i vila. Signifikanta ökning (P<0.01) kunde också registreras gällande musklernas förmåga att lagra glykogen före respektive efter träning ( $53.9 - 71.0 \text{ mmol glukos} \times \text{kg}^{-1}$ ). Till följd av träning registrerades en signifikant ökning (P<0.05) av muskellaktat vid maximalt arbete ( $8.8-13.7 \text{ mm} \times \text{kg}^{-1}$ ). Vid uttröttning noterades också en signifikant ökning (P<0.01) av blodlaktat, före respektive efter träning ( $4.7 - 5.9 \text{ mm} \times \text{l}^{-1}$ ). Till följd av träning ökade (P<0.05) den uppmätta syreskulden vid maximalt arbete.<sup>68</sup>

McManus et al. studerade effekten på maximalt syreupptag samt anaerob kapacitet hos unga flickor (9.6 år) efter att ha genomfört en åtta veckor lång träningsperiod. 12 av flickorna ingick i en s.k. konditionsgrupp och utförde ett ergometercykelarbete tre träningstillfällen/vecka á 20 min med en belastning på 160-170 beats min<sup>-1</sup> (80-85% av maximal hjärtfrekvens). I den andra interventionsgruppen vilken benämndes som s.k. sprintgrupp ingick 11 flickor vilka utförde likt konditionsgruppen tre träningstillfällen/vecka under 8 veckor. Varje träningstillfälle i sprintgruppen bestod av 3 x 10 sek sprintlöpningar separerade av 30 sek vila samt 3 x 30 sek sprintlöpningar med 90 sek vila mellan varje repetition. Efter 2 veckor ökade antalet löpningar/set till fyra och sedan till fem och sex sprintlöpningar vid vecka 4 respektive vecka 6. Kontrollgruppen utgjordes av 7 flickor. Efter avslutad träningsperiod uppvisade såväl konditionsgruppen som sprintgruppen en signifikant (P<0.05) ökning av  $V_{O2max}$ . Likaså visade det efterföljande WAnT signifikant högre värden (P<0.05) av PP hos båda interventionsgrupperna medan MP inte uppvisade några signifikanta förbättringar hos någon av grupperna. Kontrollgruppen uppvisade inte några signifikanta förbättringar vid vare sig de aeroba eller anaeroba testerna.<sup>69</sup>

Till följd av ett träningsprogram innehållandes sprintlöpning och sprintcykling, 15 min/träningstillfälle under 6 veckor uppvisade prepubertala pojkar en 3.4 % ökning av medeleffekten över 30 sek samt en 3.9 % ökning av den högsta uppmätta effektutvecklingen över 5 sekunder vid ett efterföljande Wingate – test (31) citerat av Matos et al.<sup>70</sup>

I en studie av Rotstein et al. undersöktes eventuella träningseffekter på anaerob kapacitet, aerob effekt samt laktattröskeln hos barn till följd av ett 9 veckor långt träningsprogram.

Totalt ingick 28 unga pojkar ( $10.79 \pm 0.33$ ) i studien varav 16 barn tjänade som

<sup>68</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand.* 1973 Apr;87(4):485-97

<sup>69</sup> McManus AM, Armstrong N, Williams CA. Effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls. *Acta Paediatr.* 1997 May;86(5):456-9.

<sup>70</sup> Matos, N, Winsley RJ. Trainability of young athletes and overtraining. Nuno Matos and Richard J. Winsley. Children's Health and Exercise Research Centre, School of Sport and health science. University of Exeter UK.

interventionsgrupp och deltog i tre träningstillfällen/vecka. De resterande barnen utgjorde kontrollgrupp. Ett enskilt träningstillfälle varade 45 min och innehöll förutom 15-20 min uppvärmning olika typer av rörelselekar, 1-2 serier 3 x 600 m löpning med 2.5 min vila mellan varje repetition, 5 x 400 m löpning med 2 min vila mellan varje repetition samt 6 x 150 m med 1.5 min vila mellan varje repetition. Samtliga träningstillfällen avslutades med lekar och andra mindre ansträngande aktiviteter. Träningsintensiteten anpassades efter de resultat som barnet presterat i samband med det första teststillfället. Resultatet av de efterföljande testerna efter den 9 veckor långa träningsperioden visade att interventionsgruppen förbättrat sin löptid signifikant ( $P < 0.0001$ ) på 1200 m (10 %). Samma grupp demonstrerade också signifikanta förbättringar vid efterföljande WAnT: MP ökade med 10 % ( $P < 0.0001$ ), PP ökade 14 % ( $P < 0.0001$ ). Likaså sågs en signifikant ökning ( $P < 0.0001$ ) av  $V_{O2max}$  ml x kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> (8 %) till följd av träning. Resultaten vid det efterföljande anaeroba tröskeltestet visade på signifikanta förbättringar ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). Kontrollgruppen uppvisade liksom interventionsgruppen en signifikant längdökning efter den 9 veckor långa träningsperioden. Kontrollgruppen noterades dock inte för någon förbättring vid något av de efterföljande testerna.<sup>71</sup>

---

<sup>71</sup> Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med.* 1986 Oct;7(5):281-6.

### 7.3 Anaerob uthållighet – effekt av träning efter tillväxtpurten

Ett flertal studier med träningsperioder innehållandes både korta (<10 sek) och längre (>10 sek) upprepade högintensiva intervaller har genomförts i syfte att studera eventuella träningseffekter av den anaeroba kapaciteten efter passerad tillväxtpurt. Till följd av 6 veckors träning har studier rapporterat ökning av den anaeroba kapaciteten med 10 %, 16.7 % och 28 %<sup>72 73 74</sup>. Studier har också kunnat påvisa signifikant förbättrade sprintprestationer till följd av perioder av träning innehållandes korta (<10 sek) respektive långa (10> sek) intervaller.<sup>75 76</sup> Genom WAnT har studier uppvisat ökning av MP kring ca 6-7 % samt ökning av PP på motsvarande ca 12 % till följd av träning.<sup>77</sup> Likväl har studier rapporterat obefintliga ökning av MP eller PP till följd av 6 veckors högintensiv träning på ergometercykel<sup>78</sup>. Av ovanstående artiklar som till följd av träning förbättrat sin prestation vid efterföljande tester har ett flertal av dessa också uppvisat en signifikant ökning av glykolytisk enzymaktivitet.<sup>79 80</sup>

Till följd av kontinuerligt högintensivt arbete har signifikanta ökning av den glykolytisk enzymaktivitet motsvarande 117 % presenterats av Gollnick et al.<sup>81</sup>. En ökad glykolytisk enzymaktivitet har också rapporterats till följd av träning utan en prestationsförbättring som följd<sup>82</sup>. Prestationsförbättring till följd av träning har emellertid även det rapporterats utan signifikanta enzymaktivitetsökningar<sup>83</sup>.

---

<sup>72</sup> Medbø JI, Burgers S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Aug;22(4):501-7.

<sup>73</sup> Houston ME, Thomson JA. The response of endurance-adapted adults to intense anaerobic training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1977 Mar 15;36(3):207-13.

<sup>74</sup> Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Oct;28(10):1327-30.

<sup>75</sup> Thorstensson A, Sjödin B, Karlsson J. Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand.* 1975 Jul;94(3):313-8.

<sup>76</sup> Barnett C, Carey M, Proietto J, Cerin E, Febbraio MA, Jenkins D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *J Sci Med Sport.* 2004 Sep;7(3):314-22.

<sup>78</sup> Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 1987 Aug;19(4):368-74.

<sup>79</sup> Cadefau J, Casademont J, Grau JM, Fernández J, Balaguer A, Vernet M, Cussó R, Urbano-Márquez A. Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol Scand.* 1990 Nov;140(3):341-51.

<sup>80</sup> MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM.

Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol.* 1998 Jun;84(6):2138-42.

<sup>81</sup> Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW 4th, Sembrowich WL, Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1973 Jan;34(1):107-11

<sup>82</sup> Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 1987 Aug;19(4):368-74.

<sup>83</sup> Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K.

Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 Jul;78(2):163-9.

ATP och CrP koncentrationer har noterats som oförändrade till följd av träning i vissa studier medan en annan studie rapporterat om en 14 % ökning av ATP-koncentration i vila<sup>84 85</sup>. Till följd av träning genom av upprepade högintensiva intervaller har studier rapporterat om ökade  $V_{O2max}$  värden samt en ökad aktivering av oxidativa enzymer<sup>86 87</sup>.

Längden för att bibehålla höga aktivitetsnivåer av både oxidativa och glykolytiska enzymer efter en period av reducerad träningsmängd varierar mellan studierna. I en studie med 16 -17 åriga pojkar noterades en signifikant ökning av det glykolytiska enzymet PFK till följd av träning, 6 månader senare hade emellertid aktiviteten sjunkit och noterades lägre än den aktivitetsnivå som uppmättes initialt. I kontrast till ovanstående resultat registrerades i en annan studie ingen signifikant minskning av den glykolytiska enzymaktiviteten till följd av 15 veckors träning och 7 veckors reducerad träningsmängd, däremot noterades en minskning av den oxidativa enzymaktiviteten samt en försämrad prestationsförmåga vid det längre av två efterföljande högintensiva ergometercykeltest (10 sek & 90 sek).<sup>88</sup> Likaså noterades försökspersonernas  $V_{O2max}$  för en signifikant minskning till följd av 7 veckors reducerad träningsmängd.<sup>89</sup> I en studie av Linossier et al noterades en signifikant minskning av den aeroba effekten samt en minskad oxidativ enzymaktivitet till följd av 7 veckors reducerad träningsmängd efter 9 veckors högintensivt ergometercykelarbete. Efter samma period visade sig emellertid den anaeroba potentialen vara fortsatt hög.<sup>90</sup>

Till följd av perioder med högintensiv träning har studier kunnat påvisa förändringar av musklernas fibersammansättning. Studier har rapporterat om en minskad andel typ IIb fibrer och en ökad andel typ I fibrer till följd av regelbundet supramaximalt ergometercykelarbete<sup>91</sup>. I kontrast har liknande metodologiska upplägg inneburit en ökning av andelen typ II fibrer<sup>92</sup>

---

<sup>84</sup> Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998 Jul;78(2):163-9.

<sup>85</sup> Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc*. 1987 Aug;19(4):368-74.

<sup>86</sup> Barnett C, Carey M, Proietto J, Cerin E, Febbraio MA, Jenkins D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *J Sci Med Sport*. 2004 Sep;7(3):314-22.

<sup>87</sup> Fournier M, Ricci J, Taylor AW, Ferguson RJ, Montpetit RR, Chaitman BR. Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(6):453-6.

<sup>88</sup> Ibid.

<sup>89</sup> Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C. Effects of two high-intensity intermittent training programs interspaced by detraining on human skeletal muscle and performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;56(5):516-21

<sup>90</sup> Linossier MT, Dormois D, Perier C, Frey J, Geysant A, Denis C. Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. *Acta Physiol Scand*. 1997 Dec;161(4):439-45

<sup>91</sup> Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54(3):250-3.

<sup>92</sup> Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc*. 1987 Aug;19(4):368-74.

<sup>93</sup>. Likaså har studier rapporterat en skiftning mot en ökad andel typ IIa fibrer och samtidigt sett en minskad andel typ I och typ IIb fibrer <sup>94</sup>. Studier som undersökt förmågan att förbättra den s.k. buffertkapaciteten till följd av högintensiv träning har kunnat påvisa att en förbättring är möjlig <sup>95</sup>. En förbättrad buffertkapacitet har också visat sig innebära en förbättrad prestation vid arbetsintensiteter som huvudsakligen kräver återbildning av ATP genom anaerob metabolism <sup>96</sup>. Likväl har forskare rapporterat om en oförändrad förmåga att buffra laktat och H<sup>+</sup> till följd av regelbunden högintensiv träning <sup>97</sup>.

---

<sup>93</sup> Jansson E, Esbjörnsson M, Holm I, Jacobs I. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiol Scand*. 1990 Nov;140(3):359-63.

<sup>94</sup> Esbjörnsson M, Hellsten-Westing Y, Balsom PD, Sjödin B, Jansson E. Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. *Acta Physiol Scand*. 1993 Oct;149(2):245-6

<sup>95</sup> Sharp RL, Costill DL, Fink WJ, King DS. Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med*. 1986 Feb;7(1):13-7.

<sup>96</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>97</sup> Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, Thompson MW, Mackay NA, Stathis CG, Crameri RM, Carey MF, Eager DM. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol*. 2000 Nov;89(5):1793-803.

## 7.4 Aerob Uthållighet – i relation till mognad och tillväxt

Under uppväxten sker en ökning av den aeroba effekten eller maximalt syreupptag ( $V_{O2max}$ ) i takt med stigande åldern. I den prepubertala fasen är skillnaden mellan könen låg men uppgår till ca 15 % till pojkarnas fördel vid 14 års ålder. Flickor uppnår sitt högsta maximala syreupptag vid ca.15 års ålder medans pojkar uppnår sina högsta värden vid ca.25 års ålder. Hos pojkar ses en brant ökning av syreupptaget och ett linjärt samband med åldern vid tidpunkten som sammanfaller med puberteten (11-16 års ålder).  $VO_{2max}$  uttryckt i liter/min är i relation till träningsstatus högre hos vuxna jämfört med barn vilket till viss del kan härledas till en lägre kapacitet i barns kardiovaskulära system. Om värdena däremot uttrycks i relation till kroppsvikten ses ingen/mycket liten skillnad mellan barn och vuxna. Att endast använda kroppsvikten som faktor vid beräkning av maximalt syreupptag hos växande individer ger dock nödvändigtvis inte en heltäckande bild av den aeroba förmågan. Området är komplext och bör sättas i relation till såväl kroppskomposition som den kardiovaskulära utvecklingen. Detta blir tydligt då det maximala syreupptaget uttryckt i relation till kroppsvikten genomgår mindre förändringar under uppväxten trots att den aeroba prestationsförmågan ökar kraftigt. Exempelvis har en genomsnittlig 14 åring ett liknande maximalt syreupptag som en 5 åring men klarar av att springa 1.6 km på hälften av tiden som dennes yngre kombattant. <sup>98 99 100</sup>

## 7.5 Aerob Uthållighet – effekt av träning innan tillväxtspurten

Effekterna av uthållighetsträning i syfte att förbättra den aeroba uthålligheten har genom åren undersökts på främst vuxna idrottare vilket medfört detaljerade redogörelser av den aeroba metabolismen i samband med träning och därtill relativt tydliga träningsrekommendationer och metoder i syfte att uppnå god effekt av träningen. Under de senaste årtiondena har dock intresset för effekterna av uthållighetsträning innan tillväxtspurten ökat vilket medfört värdefull kunskap kring barn och ungdomars aeroba metabolism.

I en metaanalys av bestående av 69 studier med tydliga inkluderingskriterier visar på skillnader mellan tränade – otränade barn, förändringar/ökningar av  $V_{O2max}$  till motsvarande 5 % . Resultaten styrks av Baquet et. Al som visat på ökning av  $V_{O2max}$  motsvarande 5-10

---

<sup>98</sup> Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, Thompson MW, Mackay NA, Stathis CG, Crameri RM, Carey MF, Eager DM. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol.* 2000 Nov;89(5):1793-803.

<sup>99</sup> Borms, J. The child and exercise: an overview. *Journal of sports and sciences*, 1986, 4. 3-20

<sup>100</sup> Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära* .SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

% till följd av träning. Likaså har flera andra forskargrupper bekräftat signifikanta ökning av  $VO_{2max}$  motsvarande 5,8 % - 10 %.<sup>101 102</sup>

I en longitudinell forskningsstudie av Kobayashi et. al följde man flera japanska barn (9-18 år) och ungdomsgrupper bestående av tränade och otränade individer och lät resultaten korreleras med tidpunkten då hastigheten för tillväxtspurten infaller. Resultaten visade att ökningarna av  $VO_{2max}$  var relativt små före tillväxtspurten för att sedan öka signifikant både under och efter densamma.<sup>103</sup>

Undersökningar av träningens påverkan på exempelvis löpprestation har också behandlats i forskningsstudier och påvisat signifikanta prestationsförbättringar motsvarande 18 % hos prepubertala flickor och pojkar. Den förbättrade löpprestationen kunde framför allt härledas till förändringar i löpekonomi då endast mindre ökning (ej signifikanta) av  $VO_{2max}$  kunde identifieras.<sup>104</sup>

För att uppnå maximal effekt av uthållighetsträningen visar studier att arbetsintensiteten bör vara hög - mycket hög (60-90 % av maximal hjärtfrekvens). B. la. en forskningsstudie vilken lät pojkar mellan 11-13 år genomföra omfattande uthållighetsträning i följande pulsintervall 130-140, 170-180 och 150-160 slag/min. Pojkarna genomförde 6 veckors träning och visade att endast gruppen som genomförde träningen i den högsta arbetsintensiteten förbättrade sitt  $VO_{2max}$  (11 %) <sup>105</sup>. Baquet et. al (2002) kunde också påvisa ökning (8,2 %) av  $VO_{2max}$  hos prepubertala barn till följd av högintensiv intervall träning<sup>106</sup>. Träningen genomfördes under 7 veckor och omfattande 2 tillfällen/vecka. Likaså genomförde Obert et. al en forskningsstudie med 9 pojkar och 10 flickor. Träningen omfattade 1 tim uthållighetsträning x 3 tillfällen/vecka vid en arbetsintensitet motsvarande 80 % av den maximala hjärtfrekvensen vilket resulterade till förbättrade  $VO_{2max}$  mellan 9-15 %.<sup>107</sup>

---

<sup>101</sup> Rowland, T. (1985) Aerobic response to endurance training in prepubertal children: a critical analysis. *Medicine and science in sport and exercise*. 17. 493-497.

<sup>102</sup> Matos, N. Vinsley, R. Trainability and overtraining in young athletes. *Journal of Sports Science and Medicine* (2007) **6**, 353-367

<sup>103</sup> Kobayashi, K, Kitamura K, Miura, Sodeyama. (1978) Aerobic power as related In Japanese boys: A longitudinal study. *Journal of applied physiology*. 44. 666-672.

<sup>104</sup> Moccelin R, Wasmund, U. (1973) Investigations of the influence of the running training programme on the cardiovascular and motor performance capacity in 53 boys and girls of second and third primary school class. IN *Pediatric Work Physiology. Proceedings of the Fourth International Symposium* pp 279-285.

<sup>105</sup> Massicotte, D.R. and Macnab, R.B. (1974) Cardiorespiratory adaptation to training at specified intensities in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **6**, 242-246.

<sup>106</sup> Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C. and Van Praagh, E. (2002) Effects of high intensity intermittent training on peak  $VO_2$  in prepubertal children. *International Journal of Sports Medicine* **23**, 439-444.

<sup>107</sup> Obert, P., Mandigout, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, D. and Lecoq, A. (2003) Cardiovascular responses to endurance training in children: Effect of gender. *European Journal of Clinical Investigation* **33**, 199-208.

Studier publicerade under början av 70 – talet visar att prepubertala barn även ökar sin slagvolym till följd av regelbunden uthållighetsträning under 16 veckor. Till följd träningen noterades förutom en ökad slagvolym, lägre vilopuls samt förbättrade  $V_{o2max}$  värden.<sup>108</sup>

Resultaten styrks också av efterföljande studie av Obert et. al som uppvisade ökning på såväl  $V_{o2max}$  (8-12 %) som hjärtats slagvolym (11-15 %) hos prepubertala barn till följd av 13 veckors regelbunden uthållighetsträning<sup>109</sup>. Vad gäller anpassning på lokal nivå har en studie bekräftat anpassningar hos prepubertala barn till följd av omfattande uthållighetsträning under 6 veckor. B. la noterades genom muskelbiopsier en 30 % ökning av det oxidativa enzymet SDH.<sup>110</sup>

Ett mycket begränsat antal forskningsstudier har jämfört den aeroba anpassningsförmågan mellan könen. Resultaten är inte entydiga, några studier visar inte på några signifikanta skillnader<sup>111 112</sup> medan andra visar på skillnader motsvarande 6 % till pojkarnas favör.<sup>113</sup>

Undersökningar av det kardiovaskulära systemets effekt/kapacitet hos barn - vuxna har genomförts av vilket visade på flera skillnader:

Bild a. redogör för sambandet mellan syreupptag - hjärtfrekvens och visar tydligt att prepubertala barn, till skillnad från vuxna använder sig av en högre hjärtfrekvens vid ett givet syreupptag. Bild b. redogör för skillnader av hjärtats slagvolym och visar på tydliga skillnader mellan grupperna. En vuxen individ har en betydligt större slagvolym än ett prepubertalt barn vilket därmed också förklarar kompensationen av en högre hjärtfrekvens. Likaså visar bild d. på skillnader i den s.k. a-vO<sub>2</sub> differensen (ml/100ml) vilket indikerar syremängden i det arteriella och venösa blodflödet. Bilden visar att prepubertala barn, till följd av den låga slagvolymen tillsammans med en ökad hjärtfrekvens kompenserar detta genom att effektivisera syrgastransporten till arbetande muskulatur.<sup>114</sup>

---

<sup>108</sup> Eriksson, B. and Koch, G. (1973) Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11-13 Year Old Boys. *Acta Physiologica Scandinavia* **87**, 27-39.

<sup>109</sup> Obert, P., Mandigout, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, D. and Lecoq, A. (2003) Cardiovascular responses to endurance training in children: Effect of gender. *European Journal of Clinical Investigation* **33**, 199-208.

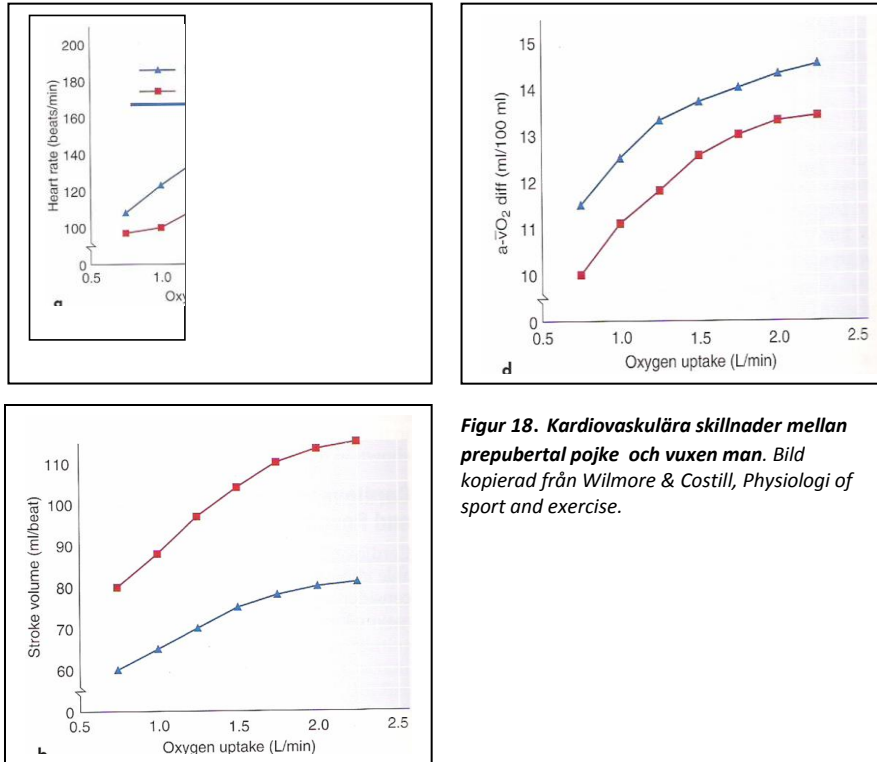
<sup>110</sup> Eriksson, B., Gollnick, P. and Saltin, B. (1973) Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiologica Scandinavia* **87**, 485-497.

<sup>111</sup> McManus, A., Armstrong, N. and Williams, C. (1997) Effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls. *Acta Paediatrica* **86**, 456-459.

<sup>112</sup> Baquet, G., Van-Praagh, E. and Berthoin, S. (2003) Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Medicine* **33**, 1127 - 1143.

<sup>113</sup> Obert, P., Mandigout, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, D. and Lecoq, A. (2003) Cardiovascular responses to endurance training in children: Effect of gender. *European Journal of Clinical Investigation* **33**, 199-208.

<sup>114</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.



## 7.6 Aerob Uthållighet – effekt av träning efter tillväxtpurten

Graden av anpassning som sker till följd av regelbunden uthållighetsträning påverkas av flertalet faktorer som t ex. träningsstatus, arbetsintensitet och träningsvolym.

Forskningsstudier har rapporterat om ökning av  $VO_{2max}$  mellan 4-93 %<sup>115</sup>

En genomsnittlig ökning av  $VO_{2max}$  uppgår till ca. 15-20 % hos friska normalt aktiva individer som genomför en träningsvolym innehållandes tre uthållighetspass/vecka á 30 min, med en arbetsintensitet motsvarande 75 % av sitt  $VO_{2max}$ . Unga vuxna uthållighetsidrottare uppvisar i snitt två ggr högre  $Vo_{2max}$  jämfört med otränade grupper i samma ålder. Därtill visar studier på relativt stora ökning av den centrala kapaciteten, ökning av hjärtats slagvolym uppgår exempelvis till mellan 10-30 % som följd av regelbunden uthållighetsträning.<sup>116</sup>

Under senare år har också mycket fokus riktats mot kroppens lokala/perifera kapacitet och då främst enzymaktivitet, mitokondriepotential samt kapillärtäthet. Studier har bekräftat viktiga anpassningar inom ovanstående områden vilka påverkar den aeroba uthålligheten i en mycket

<sup>115</sup> Pollock, ML. 1973. Quantifications of endurance training programs. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1. 155-188.

<sup>116</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

positiv riktning. Studierna visar också att den största anpassningen sker vid höga – mycket höga arbetsintensiteter och inte nödvändigtvis till följd av långa arbetstider.<sup>117</sup>

## 8. Diskussion

### 8.1 Anaerob uthållighet

Antalet studier som genomförts på barn vilka ej passerat tidpunkten för tillväxtspurten är begränsade och bör tas i åtanke vid en granskning av resultaten. Till följd av en period av högintensiv träning kunde emellertid efterföljande WAnT visa på förbättringar av PP mellan 3.9 -14 % samt MP 0 – 10 %<sup>118 119</sup>.

De största förbättringarna noterades i studien av Rotstein et al. där undersökningsgruppen utförde åtskilliga 150 - 600m intervaller tre pass/vecka á 45 min<sup>120</sup>. Varför just denna studie uppvisat markanta förbättringar kan bero på att samtliga intervaller kan ha genomförts i högt tempo och således i hög utsträckning aktiverat den anaeroba metabolismen, den exakta intensiteten redovisas ej vilket är en svag punkt i undersökningen. Dock kan mycket väl en hög arbetsintensitet ha bidragit till de markanta prestationsförbättringarna då en studie med ingående vuxna individer identifierat ett sådant samband<sup>121</sup>. De studier som inte uppvisade liknande öknings vid efterföljande WAnT kan således ha bedrivit ett mera lågintensivt träningsupplägg och med kortare duration/pass: ca 15-30 min. Flertalet av studierna uppvisade en signifikant ökning av  $V_{O2max}$  till följd av träning vilket indikerar att träningen inneburit såväl en aerob som en anaerob anpassning<sup>122 123</sup>.

I undersökningen av MacDougal et al. noterades en signifikant ökning av  $V_{O2max}$  hos båda av de två prepubertala undersökningsgrupperna. Något överraskande uppvisade både den s.k. sprintgruppen liksom konditionsgruppen signifikanta förbättringar vid efterföljande WaNT -

---

<sup>117</sup> Bakkman, L. Sahlin, K., Holmberg, H. C. And Tonkonogi, M. Acta Physiol, "Quantitative and qualitative adaptation of human skeletal muscle mitochondria to hypoxic compared with normoxic training at the same relative work rate", Vol. 190 Issue 3 Pages 243-251, 2007.

<sup>118</sup> MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. J Appl Physiol. 1998 Jun;84(6):2138-42.

<sup>119</sup> Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. Int J Sports Med. 1986 Oct;7(5):281-6.

<sup>120</sup> Ibid.

<sup>121</sup> Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and  $VO_{2max}$ . Med Sci Sports Exerc. 1996 Oct;28(10):1327-30.

<sup>122</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. Acta Paediatr Belg. 1974;28 suppl:245-52.

<sup>123</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. Acta Physiol Scand. 1973 Apr;87(4):485-97

testparameter PP, detta samtidigt som MP noterades som oförändrad till följd av träning<sup>124</sup>. Varför ingen av grupperna lyckades uppvisa någon signifikant förbättring av MP kan möjligtvis bero på brist på motivation och/eller att den period av träning som föregick testet bedrivits på en allt för låg intensitet. Den signifikanta ökningen av effektutvecklingen under 5 sek kan möjligtvis förklaras genom en betydande styrkeökningar i flickornas nedre extremiteter i kombination med att de värden som presterades initialt var mycket låga.

Likaså visade Baquet et al att ett högintensivt intermitterent löpträningsprogram med en belastning motsvarande 100-130 % av maximal aerob löp hastighet innebar signifikanta förbättringar av barnens explosiva styrka. Signifikanta förbättringar sågs vid 20 meters sprint löpning och stående längdhopp. Förbättringarna kan mycket väl härledas till det faktum att en relativt hög arbetsintensitet användes vid den regelbundna löpträningen som föranledde testerna och kan ha medfört en ökad benstyrka inte minst då löpningarna utfördes fram och tillbaka vilket innebar åtskilliga inbromsningar och accelereringar. En sådan förbättring kan också förklaras genom en ökad neuromuskulär anpassning då prepubertala styrkeökningar inte kan härledas till muskelhypotrofi<sup>125</sup>. En förbättrad neuromuskulär anpassning skulle således också kunna förklara den signifikanta ökningen som noterades vid det stående längdhoppet. Ovanstående förbättringar i moment som stående längdhopp och 20 meter sprint kan möjligtvis också förklaras genom ökade koncentrationer av ATP och CrP. Att sådana ökning är möjliga visades i studien av Eriksson et al, och skulle mycket väl kunna resultera i en förbättrad förmåga att utföra korta och högintensiva arbeten.<sup>126</sup>

I studien av Rotstein et. al noterades signifikanta förbättringar vid ett flertal testparametrar och sett till relativa ökning var resultaten vid det efterföljande WAnT i klar paritet och till och med i överkant med de förändringar av prestationen som noterats i studier med ingående vuxna människor<sup>127 128</sup>.

En möjlig förklaring till den ökade prestationsförmågan kan vara en ökad enzymaktivitet av såväl oxidativa som glykolytiska enzymer. Då de aeroba processerna visat sig bidra med en

---

<sup>124</sup> MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol*. 1998 Jun;84(6):2138-42.

<sup>125</sup> Ramsay JA, Blimkie CJ, Smith K, Garner S, MacDougall JD, Sale DG. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc*. 1990 Oct;22(5):605-14.

<sup>126</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand*. 1973 Apr;87(4):485-97

<sup>127</sup> Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med*. 1986 Oct;7(5):281-6.

<sup>128</sup> Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc*. 1987 Aug;19(4):368-74.

ansenlig mängd energi till den totala energiproduktionen vid 30 sek supramaximalt arbete hos vuxna, kan mycket väl den oxidativa enzymaktiviteten spela en betydande roll under ett WAnT<sup>129</sup>. I studien av Eriksson et al. där man lät träna prepubertala barn noterades en 83 % ökning av det glykolytiska enzymet PFK och en 30 % ökning av det oxidativa enzymet SDH till följd av ergometercykelarbete tre pass/vecka vid en belastning motsvarande 70-85 % av  $V_{O2max}$ <sup>130</sup>. Den ökade glykolytiska enzymaktiviteten visar att den anaeroba metabolismen i högsta grad varit delaktig i den totala energiproduktionen vilket också överrensstämmer med data som visat att belastningar som överstigit 60 % av  $V_{O2max}$  innebär en ökad produktion av laktat<sup>131</sup>. PFK betecknas som ett nyckelenzym i glykolysen och dess grad av aktivitet påverkar således hastigheten för hur fort ATP kan återbildas genom den anaeroba metabolismen<sup>132</sup>. En 83 % PKF ökning till följd av träning indikerar därför att den glykolytiska kapaciteten i mycket stor utsträckning kan förbättras hos prepubertala barn. Liknande ökning har också noterats i en studie av Gollnick et al. där man lät vuxna utföra fyra pass/vecka á 60 min vid en belastning som inledningsvis motsvarande 60 % av  $V_{O2max}$  för att avslutningsvis utföra 60 min/pass vid en belastning motsvarande 90 % av  $V_{O2max}$ . Resultatet visade att PKF aktiviteten till följd av träning ökat med 117 % samtidigt som aktiviteten av det oxidativa enzymet SDH ökade med 95 % i jämförelse med de värden som registrerats initialt<sup>133</sup>. En ökad glykolytisk enzymaktivitet av b la. PFK har rapporterats från flertalet studier i samband med vuxna och med prestationsförbättringar till följd.

Till följd av 4 månaders träning kunde Eriksson et al. redovisa flera intressanta iakttagelser. Förutom en 15 % ökning av  $V_{O2max}$  noterades också signifikanta ökning av ATP, CrP och glykogen koncentrationer i vila vilket indikerar en till följd av träning ökad förmåga att genomföra såväl korta som långa arbeten. Dessutom registrerades en ökad syre-skuld och en ökad glykogenförbrukning vid maximalt arbete. Likaså noterades en ökning av blod och

<sup>129</sup> Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*. 1996 Mar;80(3):876-84.

<sup>130</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. *Acta Paediatr Belg*. 1974;28 suppl:245-52.

<sup>131</sup> Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54(3):250-3.

<sup>132</sup> Danforth WH, Lyon JB. Glucocoenolysis during tetanic contraction of isolated mouse muscles in the presence and absence of phosphorylase a. *J Biol Chem*, 1964, 238, 4047.

<sup>133</sup> Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW 4th, Sembrowich WL, Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 1973 Jan;34(1):107-11

muskellaktat vid maximalt arbete med 23 % respektive 56 % vilket tyder på en förbättrad glykolytisk metabolism till följd av träning.<sup>134 135 136</sup>

Hur varaktiga ovanstående förbättringar är hos prepubertala barn är dock svårt att dra några långtgående slutsatser om då ingen av undersökningarna studerat området. Däremot har studierna med prepubertala barn visat att effekten av träning tycks följa de förbättringar och för den delen brist på förbättringar vilka studier innehållandes vuxna redovisat vid t ex efterföljande WAnT, vilket skulle kunna innebära att varaktigheten för att behålla träningseffekten till följd av perioder av träning och reducerad mängd träning också följer samma mönster.. Då styrkeökningarna hos prepubertala barn inte kan härledas till muskelhypotrofi tycks alltså den neuromuskulära anpassningen hos prepubertala barn vara bestående över tid, detta till skillnad mot vuxna där den neuromuskulära anpassningen tycks ha en mera kortvarig effekt<sup>137</sup>. Det borde därför inte vara helt orimligt att anta att de träningseffekter som tillägnats genom neuromuskulär anpassning vid andra aktiviteter som primärt stressat den anaeroba metabolismen också skulle kunna vara bestående över längre tid.

Under och efter puberteten sker som beskrivits ovan en markant ökning av den anaeroba uthålligheten. Ökningarna tycks till största del kunna härledas till ökad kroppsstorlek och muskelmassa vilket innebär att styrkeförmågan blir central för att kunna utveckla hög effekt och samtidigt bibehålla arbetsintensiteten inom de idrotter och situationer som i huvudsak kräver anaerob metabolism. Den anaeroba uthålligheten bör också tränas grenspecifikt dvs. genom skidåkning och träningsövningar under barmarksperioden som liknar de rörelser som utförs i de alpina disciplinerna. Alpin tävlingsåkning vid maximal intensitet kräver i huvudsak energiproduktion genom anaerob metabolism. Vid laktatmätningar i samband med målgång har studier uppvisat halter mellan 12-15 mmol/l vilket bör anses som relativt högt. Beräkningar visar att fördelningen av energiproduktionen mellan aeroba och anaeroba energikällor under ett tävlingsåk (45-270 sek) uppgår till 45 % respektive 55 %.<sup>138</sup>

---

<sup>134</sup> Eriksson B-O (1990) *Barns tillväxt och mognas och dess konsekvenser för idrotten. Barn, ungdom och idrott*. Idrottens forskningsråd – Sveriges riksidrottsförbund. Sista ordet AB. ISBN: 91-87154-07-02.

<sup>135</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. *Acta Paediatr Belg*. 1974;28 suppl:245-52.

<sup>136</sup> Eriksson B-O, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand*. 1973 Apr;87(4):485-97

<sup>137</sup> Tonkonogi, M. *Styrketräning för barn, bu eller bä?* Svensk idrottsforskning 1-2007.

<sup>138</sup> Burtcher, Raschner, Zallinger, Schwameder & Müller, "Comparison of cardiorespiratory and metabolic responses during conventional and carving skiing", *Science and Skiing II*, Verlag Dr Kovac, Hamburg, 2001

Då ett alpint tävlingsåk i huvudsak kräver energiproduktion genom anaeroba energikällor krävs att den anaeroba uthålligheten är god för att möjliggöra snabb och effektiv åkning. Såväl anaerob effekt som kapacitet är beroende av framför allt styrkeutveckling och då utveckling av styrka i mycket hög utsträckning är träningsbart hos barn liksom vuxna möjliggörs också rätt typ av träning. Likaså visar studier att såväl barn som vuxna genom träning kan öka kvalitativa mekanismer som ex. enzymaktivitet och ökad laktatproduktion i den anaeroba metabolismen. Träning i syfte att förbättra ovanstående delar bör därför under barmarksperioden innehålla såväl klassiska styrkeövningar som mera styrkebetonad uthållighetsträning, exempelvis hinderbanor med arbetstider motsvarande ett alpint banåk. Klassisk ”mjölksyra träning” bör bedrivas i anslutning till kommande tävlingsperiod och så grenspecifikt som möjligt. Effekterna av träningen nås relativt snabbt men försvinner också relativt snabbt vid några veckors uppehåll. Den grenspecifika träningen på snö är oerhört viktig för i synnerhet den anaeroba uthålligheten då både rörelser och krafter (på)verkar oerhört komplex på åkaren. Framför allt bör den inledande träningsperioden på snö innehålla en stor del kvantitativ träning med målet att utveckla den s.k. ”skidkonditionen”. Anpassningen både fysiskt och mentalt är viktigt i samtliga faser men särskilt viktig under den prepubertala och pubertala perioden då antalet svängar/upprepningar är en mycket viktig faktor för fortsatt utveckling.

## 8.2 Aerob Uthållighet

Den aeroba uthålligheten tycks vara träningsbar under hela livet. Dock indikerar en genomsnittlig ökning motsvarande 5 % av  $VO_{2max}$  hos prepubertala att den aeroba förmågan är mindre träningsbar före puberteten jämfört med perioden under och efter puberteten. Viktigt att framhålla är att  $VO_{2max}$  inte nödvändigtvis behöver vara den optimala metoden för att fastställa den aeroba uthålligheten vare sig hos barn, ungdomar eller vuxna. Intressanta data visar på stora förbättringar i exempelvis löpprestation hos prepubertala barn till följd av regelbunden uthållighetsträning. Förändringarna kunde inte förklaras genom öknings av  $VO_{2max}$  utan med största sannolikhet genom förbättrad arbeteekonomi<sup>139 140</sup>.

Träning i syfte att förbättra den aeroba uthålligheten tycks därför till viss del innebära anpassningar både centralt och lokalt men också neuromuskulära. Den aeroba uthålligheten

---

<sup>139</sup> Matos, N, Winsley RJ. Trainability of young athletes and overtraining. Nuno Matos and Richard J. Winsley. Children's Health and Exercise Research Centre, School of Sport and health science. University of Exeter UK

<sup>140</sup> Rowland, T. (1985) Aerobic response to endurance training in prepubertal children: a critical analysis. *Medicine and science in sport and exercise*. 17. 493-497.

tycks alltså vara träningsbar under hela livet men forskningsresultaten visar tydligt att anpassningarna både centralt och lokalt i jämförelse med vuxna är lägre i den prepubertala fasen. De aeroba uthållighetskraven inom alpin utförsåkning är komplexa. Under ett tävlingsåk som i huvudsak kräver anaerob energiproduktion är inte  $VO_{2max}$  en begränsande faktor men trots det tyder forskningsstudier på att ett relativt högt maximalt syreupptag krävs för att tillhöra toppskiktet inom alpin utförsåkning (damer ca. 47-59 ml/kg x min resp. 3,1- 4,2 l/min, herrar ca. 55-65 ml/kg x min resp. 4,0 – 5,8 l/min)<sup>141</sup>. Argumenten för att utveckla en hög aerob kapacitet ligger främst inom området *träning* då den alpina idrotten utgörs av många upprepningar av både svängar och åk vilket innebär ansamling av laktat och andra surhetsrelaterade produkter. En god aerob förmåga möjliggör en effektivare eliminering av dessa produkter vilket medför både snabbare återbildning av kreatinfosfat och inte minst en återhämtning av muskelfunktionen<sup>142</sup>. Dessutom genomförs en stor del av träningen på hög höjd vilket ställer än högre krav på åkarens återhämtningsförmåga mellan åk och träningspass. Då studier visat att den prepubertala fasen innehåller perioder särskilt anpassade för inläring och koordination är det av största vikt att unga åkare orkar genomföra en stor mängd träning med varierande innehåll för att på så vis skapa en stor och stabil rörelsebank inför kommande utvecklingssteg<sup>143</sup>. Med ovanstående resultat i åtanke är det en rimlig tanke att den aeroba uthålligheten, liksom den anaeroba uthålligheten bör tränas så grenspecifikt som möjligt i unga år i syfte att nå goda anpassningar lokalt. Övrig träning som syftar till att förbättra den centrala kapaciteten kan och bör tränas så allsidigt som möjligt då hjärtmuskeln inte bryr sig om valet av aktivitet. Träningspass under längre tid kommer att medföra goda effekter på rörelseekonomi/teknik, tillvänjning av skelett, senor, muskler samt mentalt anpassningat. För att optimera träningen ur ett allsidigt perspektiv bör övningarna blandas med högentensiva inslag och gärna innehålla fantasi, koordinativa och styrkebetonade moment – av hinderbana karaktär. Då prepubertala barn har betydligt kortare återhämtningstid än vuxna ska vilan mellan övningarna reduceras. Träning av den aeroba uthålligheten under längre tid medför troligtvis också psykologiska effekter, att mentalt orka utföra längre uthållighetsarbete i unga år borde medföra positiva effekter under den pubertala och postpubertala fasen där träningsbarheten ökar.

---

<sup>141</sup> Svenska Skidförbundet 2004. Kravanalys. Alpin skidåkning. Tävlingsystem, tävlingsform, tävlingsfrekvens idag och om 5-6 år.

<sup>142</sup> Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

<sup>143</sup> Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

## **9. Slutsats**

Såväl den aeroba som den anaeroba uthållighetsträningen bör ingå i en allsidig träningsplanering från prepubertal till postpubertal ålder. I jämförelse med vuxna har barn en lägre aerob & anaerob uthållighetsförmåga. Skillnaderna tycks till viss del, vara relaterade till kroppsstorlek samt lägre central och lokala kapacitet. Genom regelbunden träning som innefattar en betydande återbildning av ATP genom anaerob och aerob metabolism kan uthålligheten förbättras både före och efter passerad tillväxtpurt.



## Referenser

Annerstedt, C & Gjerset, A. (1992) *Idrotten träningslära*. SISU Idrottsböcker. Idrottens Hus, Farsta

Bakkman, L. Sahlin, K., Holmberg, H. C. And Tonkonogi, M. Acta Physiol, "Quantitative and qualitative adaptation of human skeletal muscle mitochondria to hypoxic compared with normoxic training at the same relative work rate", Vol. 190 Issue 3 Pages 243-251, 2007.

Bangsbo, J. *Praktiska synpunkter på fotbollsträning. Konditionsträning i teori och praktik*. Idrottens forskningsråd. Sveriges Riksidrottsförbund.

Baquet, G., Van-Praagh, E. and Berthoin, S. (2003) Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Medicine* **33**, 1127 - 1143.

Beneke R, Hütler M, Leithäuser RM. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Dec;101(6):671-7. Epub 2007 Aug 21.

Blomstrand. E, Gustavsson-Essén. B. *Aminosyranivåer i långsamma och snabba muskelfibrer – förändring under träning och återhämtning*. Svensk idrottsforskning 1 - 2008.

Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*. 1996 Mar;80(3):876-84.

Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med*. 2000 Dec;30(6):405-22. Review

Borms, J. The child and exercise: an overview. *Journal of sports and sciences*, 1986, 4. 3-20

Burtscher, Raschner, Zallinger, Schwameder & Müller, "Comparison of cardiorespiratory and metabolic responses during conventional and carving skiing", *Science and Skiing II*, Verlag Dr Kovac, Hamburg, 2001

Cumming GR, L Hastman, J McCourt, S McCullough. High serum lactate do occur in young children after maximal work. *Int. J Sports medicine*. 1980: 66-69. Georg thieme verlag Stuttgart. New York.

Danforth WH. Lyon JB. Glucokenolysis during tetanic contraction of isolated mouse muscles in the presence and absence of phosphorylase a. *J Biol. Chem*, 1964, 238, 4047.

Doré E, Bedu M, França NM, Van Praagh E. Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *Eur J Appl Physiol*. 2001 May;84(5):476-81

Eriksson B-O (1990) *Barns tillväxt och mognas och dess konsekvenser för idrotten. Barn, ungdom och idrott*. Idrottens forskningsråd – Sveriges riksidrottsförbund. Sista ordet AB. ISBN: 91-87154-07-02.

Eriksson B-O. Muscle metabolism in children--a review. *Acta Paediatr Scand Suppl*. 1980;283:20-8. Review.

Eriksson B-O, Saltin B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg.* 1974;28 suppl:257-65.

Eriksson, B. and Koch, G. (1973) Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11-13 Year Old Boys. *Acta Physiologica Scandinavia* **87**, 27-39.

Eriksson, B., Gollnick, P. and Saltin, B (1973) Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiologica Scandinavia* **87**, 485-497.

Esbjörnsson M, Hellsten-Westing Y, Balsom PD, Sjödin B, Jansson E. Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. *Acta Physiol Scand.* 1993 Oct;149(2):245-6

Falgairrette G, Bedu M, Fellmann N, Van-Praagh E, Coudert J. Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;62(3):151-6.

Gore, CJ (2000) Physiological tests for elite athletes. Campaign Human Kinetics. 2000.

Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW 4th, Sembrowich WL, Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1973 Jan;34(1):107-11

Gore, CJ (2000) Physiological tests for elite athletes. Campaign Human Kinetics. 2000.

Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, Thompson MW, Mackay NA, Stathis CG, Cramer RM, Carey MF, Eager DM. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol.* 2000 Nov;89(5):1793-803.

Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J Appl Physiol.* 1993 Jun;74(6):2875-80.

Houston ME, Thomson JA. The response of endurance-adapted adults to intense anaerobic training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1977 Mar 15;36(3):207-13.

Jansson, E. *Vilken roll spelar graden av tillväxt/mognad för barn och ungdomars idrottsliga prestationsförmåga?* Svensk idrottsforskning 1-2007.

Jansson E, Esbjörnsson M, Holm I, Jacobs I. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiol Scand.* 1990 Nov;140(3):359-63.

Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 1987 Aug;19(4):368-74.

Kobayashi, K, Kitamura K, Miura, Sodeyama. (1978) Aerobic power as related In japanese

boys: A longitudinal study. *Journal of applied physiology*. 44. 666-672.

Lännergren, J., Ulfendahl, M., Lundberg, T & Westerblad, H (2005) *Fysiologi*. Studentlitteratur, Lund.

Konditionsträning, i teori och praktik. Idrottens forskningsråd. (1993) Sveriges Riksidrottsförbund. Bohuslänningsens Boktryckeri AB.

Massicotte, D.R. and Macnab, R.B. (1974) Cardiorespiratory adaptation to training at specified intensities in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **6**, 242-246.

Medbø JJ, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol*. 1988 Jan;64(1):50-60.

Matos. N, Winsley RJ. Trainability of young athletes and overtraining. Nuno Matos and Richard J. Winsley. Children's Health and Exercise Research Centre, School of Sport and health science. University of Exeter UK

MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol*. 1998 Jun;84(6):2138-42.

McManus, A., Armstrong, N. and Williams, C. (1997) Effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls. *Acta Paediatrica* **86**, 456-459.

Mero A. Blood lactate production and recovery from anaerobic exercise in trained and untrained boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988;57(6):660-6.

Moccelin R, Wasmund, U. (1973) Investigations of the influence of the running training programme on the cardiovascular and motor performance capacity in 53 boys and girls of second and third primary school class. IN *Pediatric Work Physiology. Proceedings of the Fourth International Symposium* pp 279-285.

Oded B-O, Omri I. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 1986 Jun;18(3):264-9.

Obert, P., Mandigout, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, D. and Lecoq, A. (2003) Cardiovascular responses to endurance training in children: Effect of gender. *European Journal of Clinical Investigation* **33**, 199-208.

Pollock, ML. 1973. Quantifications of endurance training programs. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *1*. 155-188.

Ramsay JA, Blimkie CJ, Smith K, Garner S, MacDougall JD, Sale DG. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc*. 1990 Oct;22(5):605-14.

Ross A, Leveritt M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint

training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med.* 2001;31(15):1063-82.  
Review

Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med.* 1986 Oct;7(5):281-6.

Rowland, T. (1985) Aerobic response to endurance training in prepubcent children: a critical analysis. *Medicine and science in sport and exercise.* 17. 493-497.

Sahlin K, Söderlund K, Tonkonogi M, Hirakoba K. Phosphocreatine content in single fibers of human muscle after sustained submaximal exercise. *Am J Physiol.* 1997 Jul;273(1 Pt 1):C172-8.

Saltin B. The physiological and biochemical basis of aerobic and anaerobic capacities in man: effect of training and range of adaptation. *An Update on Sports Medicine (Proceedings from the Second Scandinavian Conference in Sports Medicine, Soria Moria, Oslo, Norway, March 9-15,*

Schantz, PG. Muskulaturens motoriska enheter och fibertyper. Dess egenskaper, rekrytering och plasticitet. *Konditionsträning i teori och praktik. Idrottens forskningsråd. Sveriges Riksidrottsförbund.*

Sharp RL, Costill DL, Fink WJ, King DS. Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med.* 1986 Feb;7(1):13-7.

Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1985;54(3):250-3.

Svenska Skidförbundet 2004. Kravanalys. Alpin skidåkning. Tävlingsssystem, tävlingsform, tävlingsfrekvens idag och om 5-6 år.

Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Oct;28(10):1327-30.

Tonkonogi, M. *Styrketräning för barn, bu eller bä?* Svensk idrottsforskning 1-2007.

Willmore, Jack H. & Costill, David L. (2004) *Physiology of sport and exercise.* Champaign: Human Kinetics.

Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM. <sup>31</sup>P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol.* 1993 May;74(5):2214-8.

## Internetkällor

[www.ki.se](http://www.ki.se)

## **Figurförteckning**

**Figur 1.** Sid 4. Anpassning till träning.

**Figur 2.** Sid 5. Progressiv träningsplanering

**Figur 3.** Sid 5. Negativ träningsbelastning över tid

**Figur 4.** Sid 7. Anaeroba Alactacida Energisystemet

**Figur 5.** Sid 8. Anaeroba Lactacida Energisystemet

**Figur 6.** Sid 8. Aeroba Energisystemet

**Figur 7.** Sid 9. Energisystemens bidrag vid maximalt arbete

**Figur 8.** Sid 11. Fiberrekrytering i relation till arbetsintensitet.

**Figur 9.** Sid 15. Syreupptag i relation till given löphastighet.

**Figur 10.** Sid 16. Laktatproduktion vid arbete.

**Figur 11.** Sid 17. Principiellt tillvägagångssätt för bestämning av O<sub>2</sub>-skuld

**Figur 12.** Sid 17. Anaerob metabolism vid maximalt arbete

**Figur 13.** Sid 20. Tillväxthastighet hos barn och ungdomar

**Figur 14.** Sid 20. Ökning av kroppsvikt kg/år hos barn och ungdomar.

**Figur 15.** Sid 25. Anaerob prestation och ålder

**Figur 16.** Sid 25. Enzymaktivitet hos barn och vuxna

**Figur 17.** Sid 25. Muskelfiberkomposition hos pojkar och flickor

**Figur 18.** Sid 35. Kardiovaskulära skillnader mellan prepubertal pojke och vuxen man.

## **Tabellförteckning**

**Tabell 1.** Sid 11. Muskelfibertypernas egenskaper: