



Styrketräning för muskelhypertrofi

– ett evidensbaserat perspektiv



MATHIAS WERNBOM
LEG SJUKGYMNAST, MSC



JESPER AUGUSTSSON
SPECIALISTSJUKGYMNAST,
MED DR



ROLAND THOMÉE
SPECIALISTSJUKGYMNAST,
DOCENT
AVDELNINGEN FÖR
ORTOPEDI
GÖTEBORGS UNIVERSITET

Styrketräning är idag en av de vanligaste motionsformerna och finner ständigt fler användningsområden inom såväl idrott som friskvård och rehabilitering. En av de viktigaste effekterna av styrketräning är en ökning av muskelmassan (muskelhypertrofi) och det har länge debatterats hur man ska träna för att snabbast möjligt och på bästa sätt bygga upp muskelvolymen eller återställa denna efter skada eller sjukdom. Med utgångspunkt från en nyligen publicerad systematisk översiktsartikel tittar vi närmare på sambanden mellan olika träningsvariabler och ökning av muskelmassa. Är träning med vikter bättre än isokinetisk träning? Är excentrisk träning effektivare än andra former av träning? Kan man öka muskelvolymen med isometrisk träning? Hur ofta, hur tungt och hur många set förefaller ge bäst resultat? Dessa och andra frågeställningar diskuteras i föreliggande artikel.

Bakgrund

Styrketräning syftar ytterst till att förbättra muskelfunktionen, exempelvis via ökning av maximal styrka och/eller snabbare kraftutveckling. Att åstadkomma ökning av muskelmassan eller att bevara densamma är förstås intressant inte bara för tränande och idrottande individer, utan även i behandlingen av många patientgrupper som av en eller annan anledning riskerar att tappa muskler, som exempelvis efter kirurgiska ingrepp, eller på grund av sjukdom, åldrande och/eller inaktivitet. Träningen måste dock självfallet alltid anpassas till individens begränsningar, inte minst vad gäller rörelseapparaten och kardiovaskulär funktion.

Träningens utformning

Det finns i dagsläget relativt begränsade mängder vetenskapliga data för hur träningen bör utformas för att åstadkomma optimala ökning av styrka, muskelmassa och funktionell prestationsförmåga (1, 2). Styrketrä-

ning vilar alltså fortfarande minst lika mycket på ”beprövad erfarenhet” som på vetenskap och kommer så att göra för en överskådlig framtid.

Ett styrketräningsprogram kan beskrivas med ett antal variabler: träningsfrekvens, intensitet/belastning, träningsvolym, val av träningsrörelse och typ av motstånd, typ av muskelaktion (koncentrisk, excentrisk, isometrisk), rörelsens hastighet, ledvinklar och duration, ordningsföljd mellan övningar, samt vilopaus mellan set och repetitioner (3-5). Förutom dessa variabler har även andra faktorer som individens träningsstatus och träningsperiodens längd stor betydelse för träningsresultatet.

Träningsmodalitet och typ av muskelaktion

Man kan grovt sett dela in styrketräning i tre kategorier av motstånd: dynamiskt externt motstånd, ackommoderande motstånd och statiskt/isometriskt motstånd (5, 6). Inom konventionell dynamisk styrketräning använder man



Bild 1. Fria vikter som hantlar och skivstänger är vanliga redskap inom konventionell dynamisk styrketräning. Fotograf: Jesper Augustsson.

som regel yttre motstånd i form av fria vikter och maskiner med viktmagasin. För fria vikter och enklare maskiner är den externa belastningen konstant, medan mer komplicerade maskiner ofta har en utväxling där motståndet varierar under rörelsen. Följaktligen kan man dela in traditionell dynamisk styrketräning i två kategorier: konstant och variabelt yttre motstånd (7). Konstant yttre motstånd, inte minst fria vikter, tillåter ofta mer acceleration och är mer specifikt likt idrottsliga moment. Belastningen är dock ur styrkesynpunkt oftast inte optimal genom hela rörelsebanan. Variabelt yttre motstånd kan tillåta en stor belastning genom hela rörelsebanan men är sällan idrottsspecifikt och därtill ser styrkekurvan olika ut för olika individer (7).

I konventionell dynamisk träning ingår som regel både koncentrisk (muskeln arbetar under förkortning) och excentrisk (muskeln arbetar under förlängning) muskelaktioner (8) och dessutom ofta också statiska moment

(muskeln arbetar utan att muskellängden ändras). Eftersom vikten i regel begränsas av hur mycket man orkar lyfta koncentriskt och man i princip alltid kan utveckla större kraft under excentriskt arbete är den excentriska belastningen jämförelsevis långt ifrån maximal, såvida man inte tar hjälp av träningspartners som ökar belastningen under den excentriska fasen eller tränar i speciella maskiner som tillåter större belastningar excentriskt än koncentriskt (exempelvis "Bromsman" på Bosön).

Ett annat sätt att komma runt problemet med skillnader i styrkeprofiler är att träna i apparatur med ackommoderande motstånd. Ett exempel på denna typ av motstånd är isokinetiska maskiner, där rörelsehastigheten är i princip konstant och där motståndet därmed styrs av vilken kraft den tränande själv kan generera genom rörelsen. Teoretiskt sett är detta en mycket effektiv metod men nackdelarna är att acceleration och deceleration

per definition inte är möjliga och därmed anses isokinetisk träning sällan som användbart för idrottare. Motstånd som anpassas efter utövarens egen ansträngning kallas för ackommoderande motstånd och hit hör förutom isokinetiska metoder även maskiner med hydrauliskt motstånd samt svänghjulsbaserade maskiner (exempel: Yo-Yo). I hydrauliska och svänghjulsbaserade maskiner är hastigheten inte reglerad som i rena isokinetiska apparater och en viss acceleration och deceleration är därför möjlig. Eftersom hastigheten ändå kan styras till att hamna inom ett visst intervall genom olika tröghet i motståndet kallas dessa ibland för semi-isokinetiska metoder.

Med ackommoderande motstånd kan man träna både koncentrisk och excentrisk muskelaktioner (undantaget maskiner av enklare/äldre modell). Eftersom motståndet i regel begränsas av den tränandes egen kraftinsats är maximal kraftutveckling möjlig både under den koncentrisk och under



den excentriska fasen och därmed också ”excentrisk overload” (större absoluta belastningar under den excentriska fasen än man kan lyfta koncentriskt).

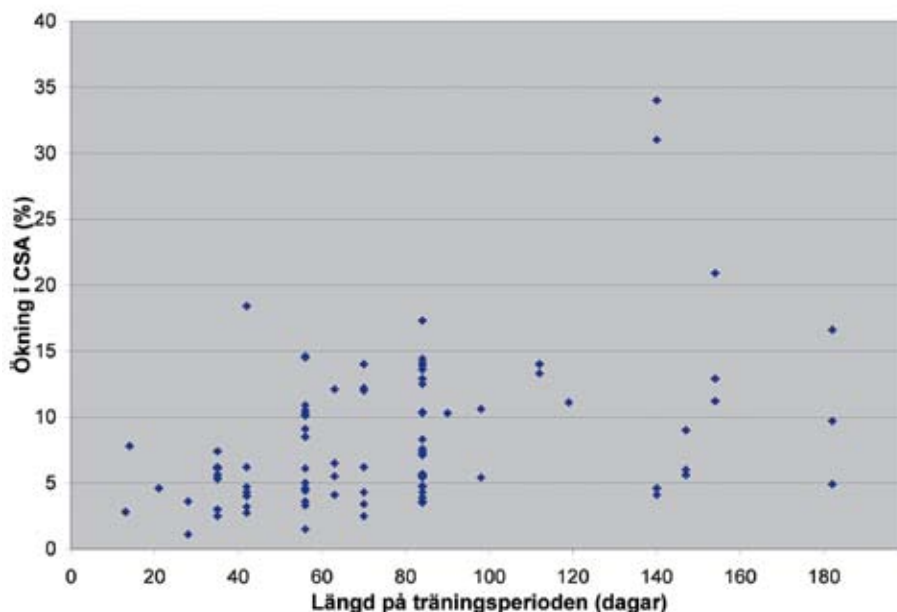
Isometrisk träning anses på grund av specificitetsprincipen sällan effektivt för att förbättra prestationsförmågan inom idrott, men däremot är metoden ofta använd i rehabiliteringen efter skador, då träning i vissa delar av rörelsebanan kan behöva undvikas. Isometrisk träning kräver ingen speciell apparatur, men är möjlig att utföra både med vikt motstånd (förutsatt att vikten är tillräckligt tung) och med ackommoderande maskiner.

Vad visar en systematisk litteraturgenomgång?

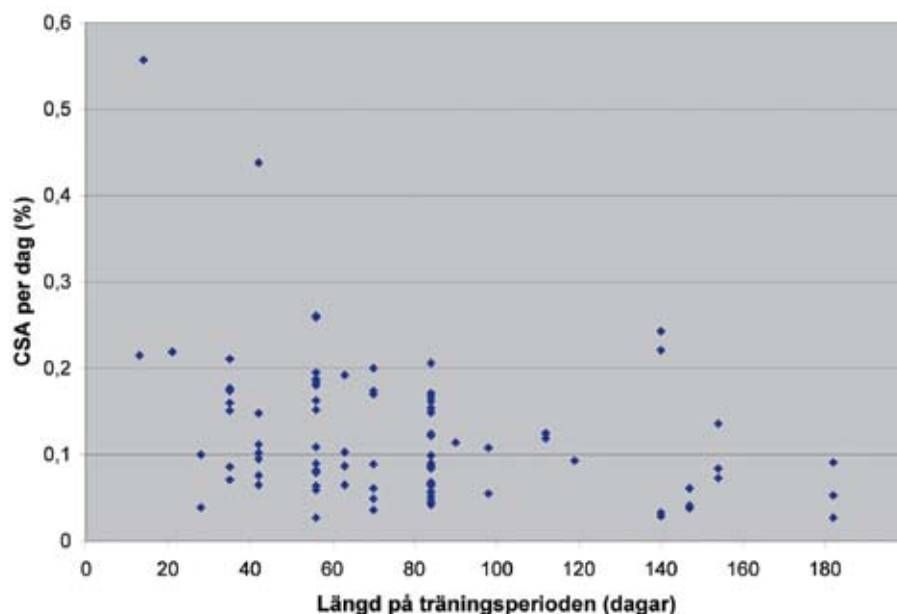
På senare år har flera meta-analyser och systematiska översikter publicerats (9-13) med evidensbaserade riktlinjer för träning för maximal styrka. För några år sedan började vi i samband med arbetet på en bok att försöka ta fram liknande evidens för utformningen av träning för muskeltillväxt. Resultatet blev en omfattande systematisk översiktsartikel (5) som publicerades i tidskriften *Sports Medicine* i år och föreliggande diskussion är till stora delar baserad på denna, men väsentligt nedkortad jämfört med den ursprungliga artikeln.

Metoder

Litteratursökningar gjordes på databaserna PubMed, Sport Discus och CINAHL, samt i böcker och referenslistor efter styrketränningsstudier som undersökt muskeltvårsnittare före och efter en träningsperiod. Inklusionskriterier var försöksgrupper bestående av friska vuxna människor, mätning av muskelarea med scanningmetodik (magnetresonanstomografi, datortomografi, ultraljud) samt att tillräckligt mycket data måste ha angivits för att dels räkna ut ökningarna i muskelarea, dels för att replikera träningsprogrammet. Exklusionskriterier var tillförsel av dopingpreparat eller andra substanser/tillskott som kan påverka muskeltillväxten, försöksgrupper bestående av äldre individer (>60 år), individer med sjukdom eller skada samt individer i negativ energibalans pga samtidig dietbehandling. Efterhand stod det klart att två muskelgrupper, knästräckarna (quadriceps femoris) och armböjarna (biceps brachii och brachialis) var de i särklass mest



Figur 1



Figur 2

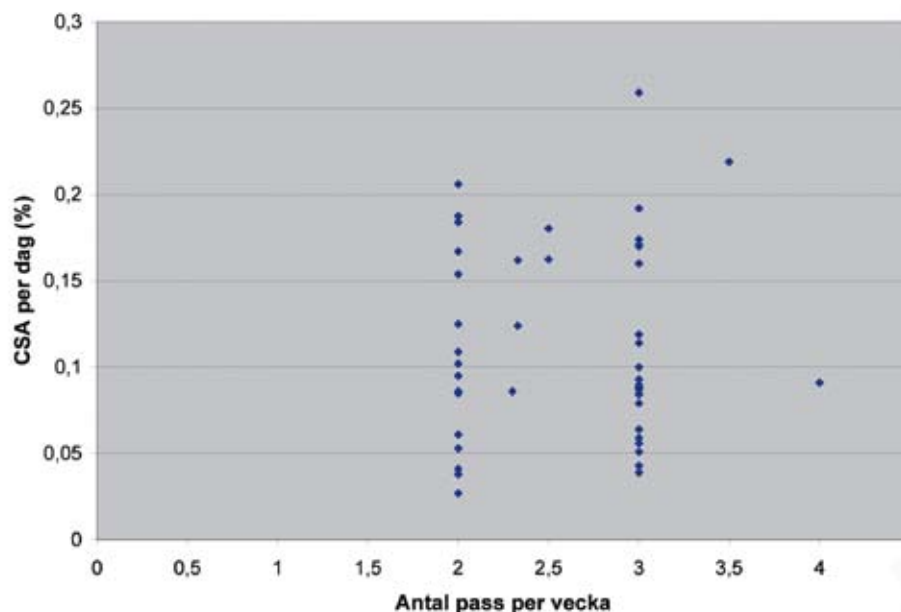
studerade hos människa och av dessa två var quadriceps den allra mest studerade. I föreliggande genomgång visas därför mestadels data för denna muskelgrupp, hos tidigare otränade försökspersoner, om ej annat anges. För att få ett jämförande mått på hur effektivt olika träningsprogram och metoder ökade muskelarean räknade vi ut ökningen i tvärsnittarean (”cross-sectional area”, CSA) i procent per kalenderdag (CSA/dag).

RESULTAT

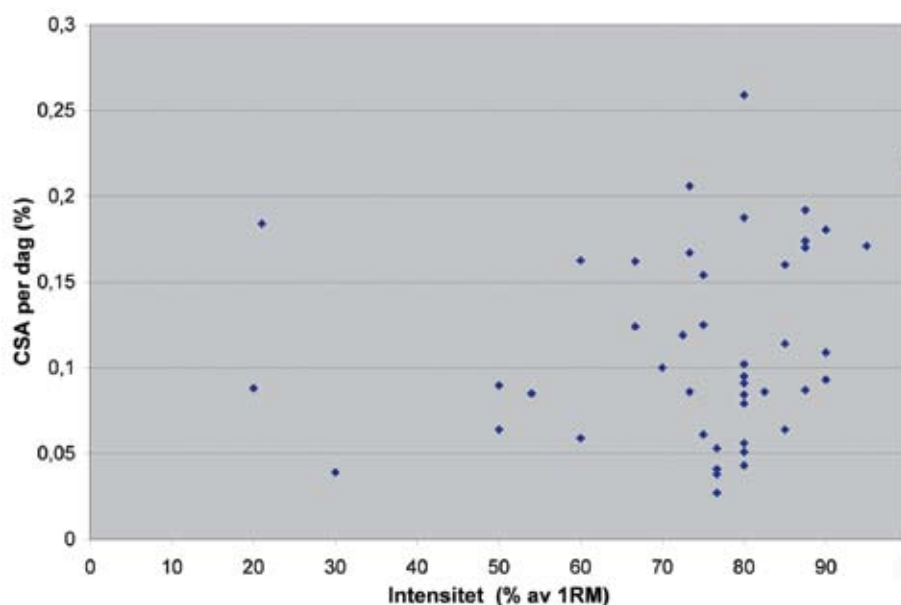
Typ av motstånd och typ av muskelaktion

För kategorin **quadricepsträning**

med **dynamiskt yttre motstånd** med kombinerade koncentrisk-excentriska muskelaktioner (dvs konventionell styrketräning) var den genomsnittliga längden på träningsperioden 79 dagar (variationsbredd: 14-182 dagar), den genomsnittliga totala ökningen i CSA 8.5% (1.1-17.3%) och ökningstakten 0.11% CSA per dag (0.03-0.26% per dag). För ren koncentrisk träning var ökningen 0.06% per dag och för ren excentrisk träning var ökningen 0.03% per dag. Det ska dock betonas att antalet grupper för ren koncentrisk och ren excentrisk träning var relativt få (5 respektive 3 träningsgrupper), varför dessa siffror ska tolkas försiktigt.



Figur 3



Figur 4

För kategorin **quadricepsträning med ackommoderande motstånd** var den genomsnittliga längden på träningsperioden 52 dagar (variationsbredd: 13-84 dagar), den totala ökningen i CSA 5.8% (2.5-18.4) och ökningstakten var 0.13% CSA per dag (0.04-0.44). För ren koncentrisk träning var den totala ökningen i CSA 6.1% (2.5-18.4) och ökningstakten 0.13% per dag (0.05-0.44) och för ren excentrisk träning var motsvarande siffror 4.2% (2.5-6.2) och 0.06% per dag (0.04-0.09). Det ska dock betonas att antalet grupper för ren excentrisk träning var relativt få (3 träningsgrupper), varför siffrorna för denna grupp ska tolkas försiktigt.

För kombinerad koncentrisk-excentrisk träning var motsvarande siffror 6.0% (4.1-7.4) och 0.16% per dag (0.06-0.21). Om enbart svänghjulsbaserad koncentrisk-excentrisk träning inkluderas i denna kategori var ökningarna 6.6% (6.1-7.4) och 0.19% per dag (0.17-0.21).

För kategorin **quadricepsträning med isometriskt motstånd** var den genomsnittliga längden på träningsperioden 84 dagar (56-98), den totala ökningen i CSA 8.9% (4.8-14.6) och ökningstakten 0.11% CSA per dag (0.06-0.26). För kategorin **quadricepsträning med kombinerad styrke och uthållighets-träning** var längden på träningsperiod-

sen mellan 70-168 dagar, den totala ökningen i CSA 15.1% (3.9-34.0) och ökningstakten 0.12% CSA per dag (0.05-0.24).

En sammanställning av längden på träningsperioden och den totala ökningen i muskelarea samt öknings-takt per dag för alla typer av quadricepsträning ses i figur 1 och figur 2. Som framgår av dessa tenderade den totala muskelvolymökningen att bli större med längre träningsperioder, medan tillväxthastigheten tenderade att vara högst under de första 6-8 veckorna av träning för att därefter sjunka långsamt.

Träningsfrekvens

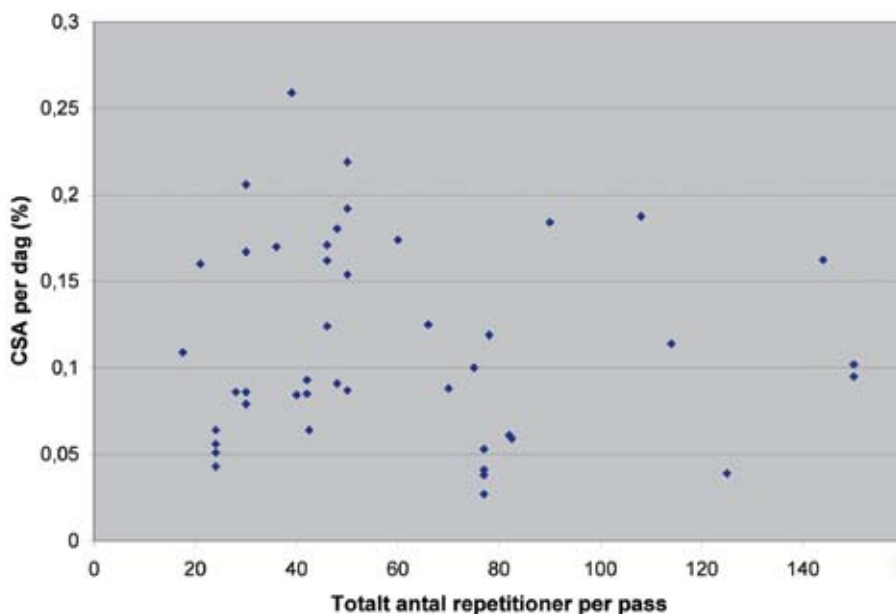
En plott över frekvens och ökningstakt i CSA per dag för kategorin **quadricepsträning med dynamiskt yttre motstånd** med kombinerade koncentrisk-excentrisk muskelaktioner visas i figur 3. De två vanligaste träningsfrekvenserna var 3 och 2 pass per vecka. Den genomsnittliga ökningstakten för både 2 och 3 pass per vecka var 0.11% per dag.

Intensitet

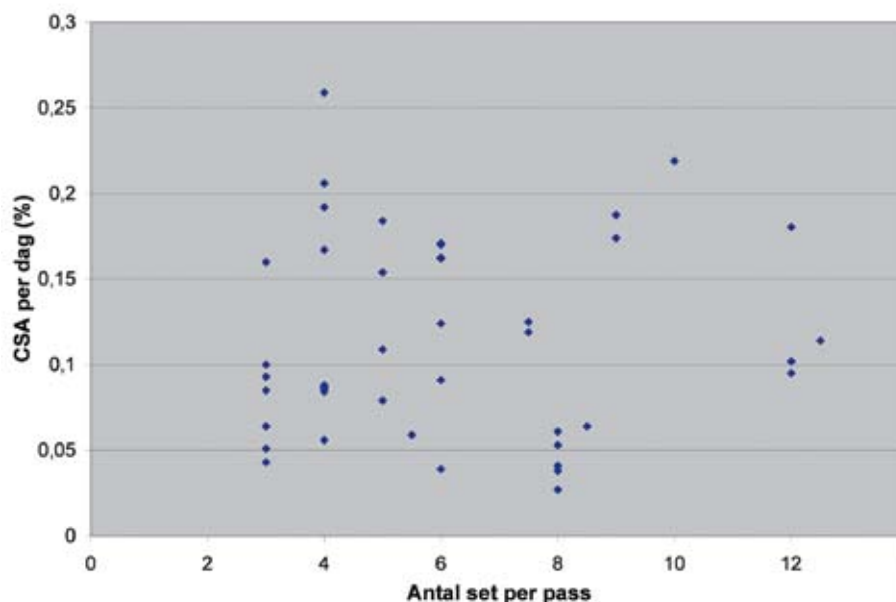
En plott över träningsintensitet och ökningstakt i CSA per dag för kategorin **quadricepsträning med dynamiskt yttre motstånd** med kombinerade koncentrisk-excentrisk muskelaktioner visas i figur 4. Intensiteten beräknades utifrån den högsta belastningen i förhållande till 1RM ("one repetition maximum", den största vikt som kan lyftas endast en gång i en övning) som uppnåddes under ett träningspass, i genomsnitt under träningsperioden. Figur 4 visar att belastningar på 60% av 1RM och däröver tenderar att ge större hastighet på muskeltillväxten än lägre intensitetsnivåer. Det bör dock noteras att antalet grupper som tränade på belastningar under 60 % av 1RM var relativt få.

Träningsvolym

En plott över träningsvolym och ökningstakt i CSA per dag för kategorin **quadricepsträning med dynamiskt yttre motstånd** med kombinerade koncentrisk-excentrisk muskelaktioner visas i figurerna 5 och 6. Flera mått på volymen beräknades, dels utifrån det totala antalet repetitioner (figur 5) och antalet set (figur 6) som utfördes under ett träningspass, dels enligt formeln set \times repetitioner \times belastning, i genomsnitt under träningsperioden.



Figur 5



Figur 6

En inspektion av datapunkterna visade fyra "clustrar" (grupperingar) ifråga om det totala antalet repetitioner. Den genomsnittliga ökningen för varje cluster var: 21-39 reps: 0.12% CSA per dag, 40-60 reps: 0.13% per dag, 66-90 reps: 0.08% per dag och ≥ 100 reps: 0.12% per dag. Inga studier återfanns med en träningsvolym på mindre än 21 repetitioner per träningspass. För det totala antalet set per pass var resultaten följande: 3 set (0.09% per dag), 4 set (0.13% per dag), 5-6 set (0.13% per dag), 7-9 set (0.09% per dag), and ≥ 10 set (0.14% per dag). Inga studier återfanns med en träningsvolym på mindre än 3 set per träningspass. När träningsvolymen beräknades

enligt formeln $\text{set} \times \text{reps} \times \text{intensitet}$, sågs inget uppenbart samband mellan volymen och ökningarna i CSA per dag (figur ej visad här).

DISKUSSION

Typ av motstånd och typ av muskelaktion

Det är intressant att notera att inga skillnader sågs i den genomsnittliga ökningstakten för quadriceps mellan de olika kategorierna av motstånd då alla hamnade på ungefär 0.1% i CSA per dag. I en dynamisk studie av Abe et al (14) noterades en förbluffande snabb ökning på 7.8% på 14 dagar (0.56% per dag), men denna skilde sig kraftigt från andra studier genom sin

kortvarighet, en extremt hög träningsfrekvens (2 ggr/dag, 6 dagar per vecka), en mycket låg belastning (20% av 1RM) och att träningen utfördes under ischemi via partiell strypning av blodflödet med tryckmanschett. Det kan på grund av den mycket korta träningsperioden inte uteslutas att en del av muskelvolymökningen berodde på ökad vätskeansamling i muskeln och inte enbart på ett ökat innehåll av muskelproteiner. Resultaten från denna studie måste därför betraktas med försiktighet och i flertalet av figurerna har den därför inte inkluderats. Den näst högsta ökningstakten för quadriceps noterades för en isokinetisk koncentrisk träningsstudie (15), där quadriceps tvärsnittsarea efter 6 veckors träning ökade med 18.4% (0.44% i CSA per dag). Därefter återfanns en grupp studier fördelade på de olika kategorierna (konventionell träning, ackommoderande träning, isometrisk träning) som alla noterat ökningarna på omkring 0.20-0.26% per dag (se figur 2).

Slutsatsen man kan dra av denna sammanställning är att både koncentrisk, excentrisk, isometrisk och kombinerad koncentrisk-excentrisk träning alla kan ge ökningarna av muskelarean med en imponerande hastighet, i varje fall hos individer som inte tidigare styrketränat. Detta är viktig information, eftersom olika typer av styrketräning kan vara olika lämpliga eller tillämpbara beroende på dels individuella faktorer, dels på vilken träningsutrustning som finns tillgänglig. Något förvånande var det faktum att bortsett från ovan nämnda studie av Abe et al (14) noterades den högsta ökningstakten (0.44% CSA per dag) för quadriceps för en isokinetisk koncentrisk studie (15). En inte sällan förekommande åsikt i litteraturen de senaste 15-20 åren är att isokinetisk träning och då i synnerhet ren koncentrisk träning, är underlägsen konventionell viktbaserad styrketräning ifråga om att öka muskelmassan. Det saknas dock i nuläget vetenskapliga belägg för denna åsikt/hypotes då den inte testats med moderna mätmetoder av muskelmassan.

Ett annat påstående som förekommer i litteraturen är att excentrisk träning är överlägsen annan träning för muskeltillväxt. Det finns studier, varav en del ännu är opublicerade (16), där mycket stora ökningarna i muskelmassa och muskelfiberarea noterats hos olika populationer efter träning med en stor excentrisk komponent, ibland med okonventionella träningsprotokoll som excentrisk cykling (17-19). Det finns även publicerade och opublicerade försök på mycket vältränade personer där träning med



excentrisk överbelastning visats vara en mycket effektiv träningsform och mer effektiv än både konventionell och ren koncentrisk styrketräning (20-22). I flera andra studier där hög till maximal excentrisk belastning använts (23, 24), se även fler referenser i (5), har dock muskeltillväxten varit blygsam och klart mindre än den som ses vid konventionell styrketräning. Då flera av dessa varit isokinetiska studier kan det vara frestande att dra slutsatsen att isokinetisk excentrisk träning är en ineffektiv träningsform, men i andra studier (25-28) med en isokinetisk excentrisk komponent har markanta ökning noteras, vilket talar emot denna hypotes.

I studier på djur har såväl koncentrisk som isometrisk och excentrisk styrketräning inducerat hypertrofi och/eller hypertrofisk signalering och i ett par av dessa (29, 30) har man inte kunnat konstatera några skillnader mellan de olika typerna av muskelaktioner i detta avseende. I andra studier har man både hos djur och hos människa kunnat se vissa skillnader mellan exempelvis koncentrisk eller isometrisk och excentrisk träning ifråga om vilka intracellulära signaleringsvägar som aktiverats (31, 32) och/eller i graden av aktivering (33-35), men det är osäkert om skillnaderna i vilka signalvägar som aktiverats har med muskeltillväxt att göra. Det är också osäkert om alla skillnaderna beror på typen av muskelaktioner i sig, eller på skillnader i maximal tension och/eller i den totala produkten av kraft och tid (tid-tensionsintegralen).

Med tanke på den stora spridningen i tillväxthastighet som noteras för samtliga träningsformer kan man förmoda att den totala träningsstressen i en del fall varit otillräcklig och i en del andra fall tvärtom för kraftig, för frekvent eller på andra sätt felaktigt utformad för att stimulera muskeltillväxt. Flera exempel där höga tillväxthastigheter noteras talar också för att det finns ett relativt stort utrymme för förbättringar av träningens utformning. Innan man vet mer om hur varje typ av styrketräning bör utformas är det därför vanskligt att säga att en metod i sig är mer effektiv än en annan avseende muskeltillväxt, eftersom det inte är säkert att träningsregimerna som jämförts varit optimala för respektive typ.

Träningsfrekvens

Träningsfrekvensen var i flertalet quadricepsstudier mellan 2 till 3 ggr per

vecka. Ingen skillnad sågs i ökningstakten för dessa frekvenser för konventionell dynamisk styrketräning, både 2 och 3 ggr/v resulterade i en ökning på 0.11% i CSA per dag. Variationsvidden i ökningarna var dock stor både för 2 och 3 ggr/v (figur 3). Noterbart är också att vi inte fann en enda träningsstudie på otränade individer där man tränat endast 1 pass per vecka, vare sig för quadriceps eller för armböjarna. Således kan man rekommendera både 2 och 3 gånger per vecka per muskelgrupp för nybörjare.

Endast ett fåtal studier har undersökt träningsfrekvensens inverkan på muskelarean hos mycket vältränade individer. I två preliminära rapporter (36, 37) jämfördes träning med 1, 2 och 3 pass per vecka och muskelgrupp. Vikne och medarbetare (36) undersökte effekterna av knäböj med excentrisk överbelastning på quadriceps CSA hos individer som tränade en, två och tre gånger per vecka i 12 veckor. Alla grupperna utförde vid varje tillfälle 5 set med 4 repetitioner i en knäböjmaskin, som var belastad med 50% av 1RM i den koncentrisk fasen och 110-135% av 1RM i den excentrisk fasen. Grupperna som tränade två och tre gånger per vecka ökade mer i tvärsnittsarean för quadriceps (5.99% respektive 6.75%) än gruppen som tränade en gång per vecka (3.1% ökning i CSA). Wirth och medarbetare (37) undersökte träningseffekter hos individer som tränade armböjarna med 1, 2 och 3 pass per vecka. Alla grupperna utförde flera olika övningar med 8-12 repetitioner i varje set för en total träningsvolym av 5 set. Grupperna som tränade två och tre gånger per vecka ökade signifikant mer i tvärsnittsarean (6.6% respektive 7.4% ökning) än gruppen som tränade en gång per vecka (3.9%). I båda studierna ökade alltså grupperna som tränade 2 och 3 ggr/v betydligt mer än de som tränade endast 1 gång per vecka.

Även om det finns behov av fler studier innan några säkra slutsatser kan dras så stämmer dessa rön väl överens med studier (38-41) där man undersökt muskelproteinsyntesen efter ett styrketräningspass, där proteinsyntesen som regel nått sitt maximum mellan 3 och 24 timmar efter passet, för att sedan långsamt sjunka tillbaka till utgångsläget inom 36 till 72 timmar. Det bör dock betonas att ingen humanstudie har undersökt proteinsyntesen efter de första 72 timmarna och det kan därför inte uteslutas att vissa typer av mycket hård träning kan ge ökning i synte-

sen som varar längre än så. Samtidigt måste man också varna för att alltför hård och/eller frekvent träning i längden kan åstadkomma mer skada än uppbyggnad och det är visat att ett enda pass av mycket hård excentrisk träning åtminstone initialt kan leda till en markant förlust av muskelvolym och nedbrytning av muskelproteiner (42, 43) och möjligen också programmerad självdöd (apoptos) av mekaniskt ömtåliga muskelfibrer (42, 43).

Angående frekvensen för mer erfarna så tränar många styrketränande individer varje muskelgrupp med endast 1 pass per vecka och i bodybuildingkretsar anses redan 2 pass per vecka av många vara på gränsen till för mycket. Tyngdlyftare är å sin sida kända för att kunna träna samma muskelgrupper med flera pass per dag och under flera dagar per vecka, vilket resulterar i en mycket hög sammanlagd träningsfrekvens per muskelgrupp. Beträffande kroppsbyggares träning ska det också poängteras att även om en enskild muskelgrupp bara tränas specifikt under ett pass per vecka så får samma muskelgrupp ofta träning via andra muskelgruppers träning, exempelvis tränas biceps i många övningar som är avsedda för ryggmuskulaturen. Dopingproblematiken är dock omfattande inom kraftsporter och detta måste beaktas, eftersom doping har enorma effekter på såväl muskeltillväxt som på hur mycket träning individen tål. Ett annars mediokert eller ett alltför hårt träningsprogram kan därför tillsammans med dopingpreparat ge kraftiga ökning av muskelvolymen. Detsamma kan tänkas gälla, om än i mindre grad, olika kosttillskott såsom kreatin och aminosyror.

Intensitet

Av figur 4 framgår att det generellt krävs belastningar på åtminstone 60% av 1RM och däröver för att ge stor hastighet på muskeltillväxten men också att belastningar på ~75-80% av 1RM tycks vara tillräckliga för att ge optimala ökning av muskelvolymen. Samma tendens var tydlig även för armböjarna (figur ej visad). Dessa trender stämmer väl överens med tidigare rekommendationer och är också i linje med en studie av Bowtell och medarbetare (44), som undersökte muskelproteinsyntesen efter tre olika belastningar, där den totala belastningsmängden hölls lika. I denna studie sågs inga skillnader i proteinsyntesen vid 2,5 timmar efter träningspasset mellan 60, 75 och 90% av 1RM. Som författarna själva



påpekade kan det dock inte uteslutas att eventuella skillnader skulle kunna manifesteras senare och även interagera med kostintag efter träningspasset.

Ett intressant undantag från "60%-regeln" är ischemisk styrketräning, som har visats ge muskeltillväxt på så låga belastningar som mellan 20-50% av 1RM. Takarada et al (45) lät en försöksgrupp träna 5 set knäextension till uttröttningsgrad på 20% av 1RM, i kombination med partiell strypning av blodflödet med tryckmanschett, 2 ggr per vecka i 8 veckor. Försökspersonerna ökade muskelvolymen med 10.3% efter 8 veckors träning (0.18% CSA per dag), vilket är en högre ökningstakt än i flertalet dynamiska studier. I tidigare nämnda studie av Abe et al (14) var ökningstakten hela 0.56% i CSA per dag, men som också nämnts var träningsfrekvensen i denna studie extremt hög. I en annan studie (46) som också den använde en belastning på 20% av 1RM och där frekvensen var 3 dagar i veckan var ökningstakten 0.09% per dag. Således tycks ischemisk träning vid "normala" frekvenser (2-3 ggr/v) ge ökning i paritet med de som ses vid konventionell tung styrketräning. Intressant är att ischemisk träning har visats ge en markant muskeltillväxt också hos mycket vältränade atleter.

Det finns alltså en stor spännvidd ifråga om belastningar, från ca 20% av 1RM vid ischemisk träning till 120% eller mer vid excentrisk träning, som kan inducera muskeltillväxt. Denna observation tycks strida mot hypotesen att muskeltensionen är ett viktigt stimuli för hypertrofi, men som senare kommer att diskuteras är även andra faktorer såsom den totala träningsvolymen viktiga för responsen och därtill är muskeltension inte heller det enda stimulus som kan inducera muskeltillväxt, även om det möjligen är det enskilt viktigaste. Rekrytering av ett maximalt antal motoriska enheter är också en mycket viktig faktor. Det anses att i större muskelgrupper sker en rekrytering av nya enheter med ökande kraft upp till åtminstone 80% av maximal kraft. Vid submaximala belastningar är således alla motoriska enheter inte rekryterade, men med ökande uttröttningsgrad i den arbetande muskeln kommer efterhand alltfler typ 2 fibrer att rekryteras och detta skulle kunna ske även vid så låga belastningar som 20% av 1RM under ischemiska förhållanden. Eftersom kraften i redan uttröttade fibrer kan sjunka till obefintliga nivåer kan den faktiska arbetsbördan för varje kvarvarande

kraftproducerande muskelfiber också bli väsentligt större än vad den yttre belastningen antyder.

Träningsvolym

En inspektion av figurerna 5 och 6 ger intrycket av att tillväxten ökar initialt med ökande träningsvolym, för att sedan plana ut eller möjligen till och med minska med ytterligare ökad träningsmängd. Generellt tycks totalt 30-60 repetitioner fördelat på 3-6 set sammanlagt vara tillräckligt för att ge stor hastighet på muskeltillväxten för quadriceps. På grund av att inga studier påträffades vare sig för quadriceps eller för armböjarna som undersökt effekten av enbart 1-2 set är det dock svårt att uttala sig om dos-responskurvans utseende i den tidiga delen (mellan 1-20 repetitioner sammanlagt). För armböjarna syntes en trend till ökad tillväxthastighet med ökande träningsvolym upp till ett maximum vid ca 40-60 repetitioner sammanlagt. Det fanns dock två intressanta undantag där ett relativt litet antal repetitioner (12-14 stycken) per pass gav stora ökning. I den ena användes mycket tunga vikter (90-100% av 1RM) och i den andra belastades den excentriska fasen med extremt tunga vikter (i genomsnitt 180% av 1RM). Dessa två tillsammans med en del andra studier tyder på att det vid mycket stora belastningar, i synnerhet vid excentrisk träning, inte krävs lika mycket träningsvolym som vid lägre belastningar för att ge muskeltillväxt.

Teorin om en dos-responskurva mellan träningsvolym och muskeltillväxt (se Wernbom & Augustsson, Svensk Idrottsforskning nr 1, 2004) har fått stöd i en nyligen publicerad studie av Rønnestad och medarbetare (47), se också referat av Fawzi Kadi, Svensk Idrottsforskning nr 3, 2006. I denna studie konstaterades större ökning av tvärsnittsarea (12% vs 8%) för quadriceps för en sammanlagd volym på 6 set (två övningar om 3 set vardera, 7-10 repetitioner per set) jämfört med 2 set (två övningar om 1 set vardera). Båda grupperna tränade i 11 veckor, 3 ggr/v. Även för hamstrings och nedre extremiteten som helhet sågs större ökning i muskelarea och fettfri massa med 3 set vs 1 set per övning. Noterbart dock var att ingen skillnad sågs ifråga om ökning i tvärsnittsarea för trapezius, eller i fettfri massa för överkroppen som helhet mellan 1 och 3 set per övning. Några data för armböjarna redovisades inte. Således finns en möjlighet att överkroppsmuskulatur

kräver en mindre träningsvolym än nedre extremitetens muskler, sannolikt på grund av en ökad träningsgrad i de senare muskelgrupperna eftersom de används mer i vardagen. En alternativ tolkning är att muskeltillväxten för överkroppen inte var optimal i någon av grupperna och att såväl 1 som 3 set var otillräckligt för att uppnå maximal tillväxthastighet. Det bör nämnas att försökspersonerna i denna studie intog protein och kolhydrater i samband med träningen och det är ännu okänt hur supplementering interagerar med träningsvolymen.

Studien av Rønnestad et al (47) visar att redan relativt små volymer per muskelgrupp (1-2 set) kan vara effektiva för att öka muskelmassan. Det finns även ett par tidigare studier (48, 49) som likaledes visat ökning i muskelmassan (muskeltjocklek mätt med ultraljud) efter 1 set om 8-12 repetitioner per muskelgrupp. Ur tidssynpunkt och för att gradvis vänja muskulaturen vid träning i det tidiga skedet kan man därför med fördel rekommendera 1-2 set per muskelgrupp under de allra första veckornas träning. Om målet därefter är att öka muskeltillväxten med så hög hastighet som möjligt pekar den befintliga evidensen på att det kan vara motiverat med en något större mängd träning (~3-6 set per muskelgrupp).

Det har som nämnts ovan hävdats att med ökad träningsstatus krävs en ökad träningsvolym för fortsatta ökning i styrka och muskelmassa, medan andra författare istället betonar betydelsen av belastningens storlek och typen av muskelaktion. En nyligen publicerad studie visar mindre förändringar i hypertrofiska signalvägar i muskulaturen efter ett intensivt protokoll (maximala koncentriska och excentriska muskelaktioner) hos redan styrketränade individer än hos sådana som är ovana vid tung styrketräning (50). Dessa observationer skulle kunna tolkas som att det krävs större mängd träning eller andra belastningsstrategier för att stimulera hypertrofi hos redan vältränade lyftare. Fler studier är dock nödvändiga för att bringa klarhet i dessa frågor.

Vad stimulerar muskelhypertrofi?

I samband med muskelaktivitet och träning sker en rad fysiologiska och biokemiska processer i muskulaturen som sätter igång olika signalvägar, varav en del leder till muskeltillväxt medan andra leder till ökad uthållighet (51) (se även artikel av Mascher,



Bild 2. Dragapparater är också vanliga redskap inom konventionell dynamisk styrketräning. Fotograf: Jesper Augustsson.

Tannerstedt och Blomstrand i Svensk Idrottsforskning nr 3, 2006). De flesta auktoriteter tycks emellertid vara överens om att kraftutvecklingen i muskeln är ett mycket viktigt stimuli för muskelhypertrofi.

Studier av Martineau & Gardiner (53, 54) på fripreparerad rättmuskel har visat att flera intracellulära signaleringsvägar, bland dem MAP-kinasvägarna JNK och ERK, svarar i direkt proportion till graden av muskeltension, samt också till tid-tensionsintegralen. I en av studierna visades att excentriska muskelaktioner ledde till större grad av fosforylering än isometriska aktiveringar, som i sin tur gav större signalering än koncentrisk muskelaktioner, som i sin tur resulterade i större signalering än passiv uttöjning av muskeln (stretch). En för muskeltillväxt mycket viktig signalkaskad, bestående av bland annat enzymerna PI3 kinas, Akt, mTOR och p70S6 kinas (se artikel av Mascher, Tannerstedt och Blomstrand) undersöktes dock inte i studierna av Martineau och Gardiner.

Signalvägen PI3K-Akt-mTOR och enzymer nedströms om denna (bland andra p70S6K) har under de senaste 6-8 åren alltmer etablerats som en viktig enzymkaskad som förmodas delta i muskeltillväxten som sker vid styrketräning och andra former av mekanisk belastning som leder till muskelhypertrofi. Denna signalkaskad kan aktiveras dels av insulin och tillväxtfaktorer som IGF-1, dels genom direkt omvandling av mekaniskt stimuli till biokemiska signaler (mekanotransduktion) (55). Den tidigaste responsen i denna signalväg vid styrketräning är antagligen alltför snabb för att kunna orsakas av tillväxtfaktorer och den kan därför tillskrivas mekanotransduktion och/eller andra processer som är associerade med muskelarbete, medan en senare respons förmodas bero på tillväxtfaktorer som IGF-1 och MGF (56).

Det är ännu inte mycket känt om hur signalvägen PI3K-Akt-mTOR reagerar på olika variabler i styrketräning, såsom graden av tension, tid-tensionsintegralen, vilopaus

mellan aktiveringar, osv. Intermittent stretch av muskelpreparat har visats ge ökning i proteinsyntesen efter 60-90 minuters stretch och det krävdes minst 30 minuters stretch innan någon ökning sågs i fosforyleringen i flera för proteinsyntesen viktiga enzymer som p70S6K (57). Det finns förstås stora skillnader i karaktären på stimulit vid stretch jämfört med vid muskelaktivering. Styrketräning innebär att muskeln aktivt utvecklar stor kraft under en kort tid, i effektiv tid räknat från några sekunder upp till en eller ett par minuter och kraftutvecklingen är som regel betydligt större vid aktivt muskelarbete mot stort motstånd än vid passiv töjning av muskeln. Mot bakgrund av detta och resultaten av Martineau & Gardiner kan man spekulera i att hypertrofisk signalering, t ex PI3K-Akt-mTOR-p70S6K kaskaden, påverkas av såväl graden av muskeltension som tid-tensionsintegralen, analogt med vad som visats för MAP-kinasvägarna ERK och JNK. I linje med en sådan hypotes har mycket korta tider (~10-20



sekunder sammanlagt) av maximalt excentriskt muskelarbete i flera studier resulterat i muskelhypertrofi, medan motsvarande korta tider av maximalt koncentriskt arbete som regel inte ökat muskelmassan nämnvärt. Något längre totala durationer (~40-60 sekunder och däröver) av maximalt koncentriskt arbete har dock visats kunna inducera hypertrofi.

En undersökning av Eliasson (numera Tannerstedt) och medarbetare (34) visade större fosforylering av p70S6K i quadriceps efter 4 x 6 maximala excentriska muskelaktioner jämfört med lika många maximala koncentriska muskelaktioner eller samma mängd submaximala excentriska muskelaktioner. Detta fynd är i överensstämmelse med muskeltensionens betydelse för hypertrofisvaret men motsäger inte tid-tensionsintegralens betydelse, då det precis som författarna själva påpekat är möjligt att ett större antal koncentriska aktioner skulle kunna resultera i en signifikant effekt på signaleringen. Man måste också komma ihåg att ett enstaka träningspass inte är detsamma som regelbunden träning och att man därför bör vara försiktig med att extrapolera resultaten från ett akut fysiologiskt försök till mer långsiktig träning. Som ett exempel på detta kan nämnas en studie av Haddad och Adams (58), som på rättmuskel visade markant större tränings effekt på tillväxtfaktorer (IGF-1 och MGF) och fosforylering av p70S6K efter två stimuleringsstillfällen (elektriskt inducerade isometriska muskelaktioner) åtskilda av 24-48 timmar jämfört med ett enstaka tillfälle. En summation av effekterna av flera relativt närliggande pass kan mycket väl tänkas föreligga även vid träning hos människor.

Slutligen måste man vid jämförelser mellan olika typer av träning beakta att dessa kan skilja sig åt inte bara i kraftutveckling utan även i trötthetsutveckling. Koncentriska muskelaktioner är som regel förknippade med en avsevärt större muskeltrötthet under själva träningspasset än excentriska muskelaktioner. Om full muskelaktivering och hög kraftutveckling är viktiga som stimuli så bör man således ha väl tilltagen vila inte bara mellan varje set utan också mellan varje repetition där maximala eller nästan maximala koncentriska lyft ingår. Intressant är att i den koncentriska studie (15) som uppvisade störst ökningstakt (0.44% per dag) användes just en sådan strategi, vilket var unikt för denna studie.

Utöver minskad trötthet i framförallt i typ 2 fibrer kan man också tänka sig att mekanotransduktionen i muskeln påverkas positivt av vilopausar, vilket visats i benvävnad, men denna hypotes återstår att bevisa för skelettmuskel. Vid submaximala belastningar, till skillnad från maximala, närmar sig dock rekryteringen av muskelfibrer maximala nivåer först när muskeln närmar sig uttröttning ("failure"), eller om varje repetition sker med explosivt utförande under åtminstone den koncentriska fasen.

Förutom muskelspänning och mekanotransduktion uppstår i samband med styrketräning många andra fysiologiska skeenden som kan tänkas vara stimuli till hypertrofi (ischemi-reperfusion, hypoxi-hyperoxi, bildning av fria radikaler i låga doser, heat stress, förändringar av metabolitnivåer och joner, frisättning av hormoner och tillväxtfaktorer, etc) och det är troligt att dessa både interagerar och överlappar med signaler och processer som induceras av mekanisk tension (55, 59). Det är också viktigt att påminna om att hård styrketräning även kan stimulera katabola signalvägar och att vissa av de signalkaskader som sätts igång av uthållighetsträning (exempelvis AMP-aktiverat proteinkininas, AMPK) har en akut hämmande inverkan på proteinsyntesen och viktiga enzymerna för denna (51). AMPK kan induceras även vid konventionell styrketräning. Dessa för tillväxten negativa effekter och hur de inverkar vid olika typer av styrketräningsprotokoll är i skrivande stund ett om möjligt ännu mindre utforskat område än hur styrketräning påverkar anabola signalvägar. Det kan förmodas att med ökad kunskap om hur de katabola och hämmande signalerna påverkas av träning och hur man eventuellt kan minimera dessa medan man optimerar de anabola signalerna kan man konstruera träningsprogram som är både säkrare och mer effektiva för att inducera muskeltillväxt. Sålunda återstår ännu mycket att göra inom utformningen av styrketräning för att bibehålla, öka eller återställa muskelmassan hos olika populationer av individer.

E-post: mathias.wernbom@gu.se

Referenser

1. Wernbom M, Augustsson J. Träningsvolym vid styrketräning: ett set eller flera? Svensk Idrottsforskning 2004; 13 (nr 1): 38-43.
2. Kadi F. Vägen mot effektivare styrketräning för nybörjare: en eller tre serier? Svensk

Idrottsforskning 2006; 15 (nr 3): 16-19.

3. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. Med Sci Sports Exerc 2004; 36: 674-88.
4. Toigo M, Boutelier U. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. Eur J Appl Physiol 2006; 97 (6): 643-63.
5. Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. Sports Med 2007; 37 (3): 225-264.
6. Atha J. Strengthening muscle. Exerc Sports Sci Rev 1981; 9: 1-73.
7. Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, (IL), 2004.
8. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, et al. American College of Sports Medicine. Position stand: Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc 2002; 34: 364-80.
9. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. Med Sci Sports Exerc 2003; 35: 456-64.
10. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN. Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. Res Q Exerc Sport 2002; 73: 485-8.
11. Peterson MD, Rhea MR, Alvar BA. Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. J Strength Cond Res 2004; 18: 377-82.
12. Rhea MR, Alderman BL. A meta-analysis of periodized versus nonperiodized strength and power training programs. Res Q Exerc Sport 2004; 75: 413-22.

Referenslistan omfattar 59 artiklar som kan beställas från CIFs redaktion artur.forsberg@gih.se eller författarna mathias.wernbom@gu.. Referenser till studier som inkluderats i figurer och i resultatdelen återfinns i referens nr 5.