



Lance Armstrong på Alpe d'Huez under bjergkeltstart, Tour de France 2004 – antageligt med et minutvolumen på op mod 40 l/min og en gennemsnitlig arbejdsbelastning på 480 watt.

1. reservelæge Lars Juel Andersen

Amtssygehuset i Gentofte, Kardiologisk Afdeling

Tour de France er verdens mest berømte – og formentlig også hårdeste – cykelløb. På tre uger tilbagelægger cykelrytterne ca. 3.700 km fordelt på 20-22 etaper med en samlet gennemsnitsfart for vinderen på ca. 40 km/time. Under løbet forbrænder rytterne i gennemsnit ca. 25.000 kJ pr. dag, og under de hårdeste bjergetaper kan de forbrænde op til 36.000 kJ svarende til 3-4 dages energibehov for en almindelig ikkeaktiv person. Som forberedelse til løbet kører en professionel cykelrytter 30.000-35.000 km om året under træning og konkurrence.

### Rytternes fysiologiske karakteristika

Som andre udholdenhedsatleter er professionelle cykelryttere karakteriseret ved at have en meget høj maksimal iltoptagelse (kondital), typisk omkring 80 ml/kg/min. Heraf følger en meget høj maksimal arbejdskapacitet. Ved test som proceduren for almindelig arbejdslektrokardiogram (ekg) er det ikke ualmindeligt, at rytterne producerer over 500 watt. Da rytterne sjældent vejer over 75 kg og typisk har en fedtprocent på 5-7, bliver arbejdskapaciteten pr. kg legemsvægt imponerende høj (6,5-7,5 watt/kg). Under spurt og ved ryk fra feltet leverer rytterne energiudladninger på omkring 1.500 watt. Rytternes laktatgrænse (syregrænse) ligger tæt på den maksimale iltoptagelse – dvs. de er i stand til at arbejde med meget høj intensitet gennem længere tid. I et feltstudie fra Tour de France og Vuelta a España beskrev man arbejdsintensiteten for 18 udvalgte ryttere på samtlige etaper.

På bjergetaper arbejdede rytterne ca. halvdelen time (svarende til 40% af tiden) med en intensitet på over 70% af deres maksimale arbejdskapacitet. I omkring en halv time lå arbejdsintensiteten på over 90% af den maksimale ydeevne [1]. Netop evnen til at arbejde i lang tid på syregrænsen kan

omsættes direkte til succes under faktisk cykelløb, og der er fundet en lineær korrelation mellem watt-produktionen på syregrænsen ved laboratorieforsøg og hastigheden under enkelstart i Tour de France [2].

### Strukturelle kardiale adaptationer

Kardial hypertrofi som respons på intensiv fysisk træning har været kendt i mere end 100 år. De strukturelle, elektrofysiologiske og funktionelle forandringer beskrives som »sportshjertet«. Der skelnes mellem to typer af hypertrofi: 1) excentrisk hypertrofi, hvor der primært udvikles dilatation af hjertet, ofte ledsaget af en vis samtidig hypertrofi af muskeltvæggen, til at modsvare den forøgede tension i myokardiet, der følger dilatationen, og 2) koncentrisk hypertrofi, hvor der ses absolut eller relativ forøgelse af muskeltvæggen uden dilatation af hjertet. Det er karakteren af den fysiske belastning, der er afgørende for graden og typen af hypertrofi. Ved dynamisk udholdenhedstræning, som fordrer højt minutvolumen (f.eks. langdistanceløb), udsættes hjertet primært for en volumenbelastning, der fører til dilatation af hjertet – altså excentrisk hypertrofi. Ved statisk og mere styrkebetonet træning (f.eks. vægtløftning) belastes hjertet primært ved en forøgelse af *afterload*, og til at modstå et øget intraventrikulært tryk udvikles hypertrofi af myokardiet uden samtidig dilatation – altså koncentrisk hypertrofi.

Cykling er den sportsgren af alle, som har den største *impact factor* på udvikling af kardial hypertrofi. Måske fordi cykling er karakteriseret ved intensivt dynamisk arbejde (fra underekstremiteter), men også indeholder et betydeligt statisk arbejde (fra torso og overekstremiteter samt fra kortvarige eksplosioner ved sprint og ryk fra feltet). Herved udsættes hjertet både for en volumen- og en trykbelastning. Desuden er det formentlig væsentligt, at hjertet belastes gennem lang tid på grund af cykelrytternes voluminøse træningsmængder.

Normale øvre grænser for venstre ventrikels slutdiastoliske diameter, vægtykkelse og masse er henholdsvis 56 mm, 11

## VIDENSKAB OG PRAKSIS | STATUSARTIKEL

mm og 134 g/m<sup>2</sup> legemsoverflade. Dog accepteres sædvanligvis diameter og vægtykkelse af venstre ventrikel på 60 mm og 13 mm hos eliteidrætsfolk. Deltagerfeltet i Tour de France 1995 og 1998 fik foretaget ekkokardiografi inden løbets start [3]. Over halvdelen af rytterne havde venstre ventrikel slutdiastolisk diameter over 60 mm, og 75% lå over den øvre normalgrænse for kontrolgruppen (57,4 mm). Størst målte værdi var 73 mm. Venstre ventrikels vægtykkelse var over 13 mm hos 8,7%, og dette forekom hyppigst ved samtidig dilatation af hjertet. Som det fremgår af **Tabel 1**, er der også i andre studier fundet værdier langt over de normale grænseværdier. Excentrisk hypertrofi er helt dominerende, men der ses også en vis hypertrofi af muskeltvæggen og den samlede masse af venstre ventrikel er betydelig forøget. I øvrigt bemærker man, at hypertrofien er mere udtalt hos professionelle end hos dem, der konkurrerer på lavere niveau. Graden af hypertrofi synes også at være afhængig af alderen og er mindst udtalt hos de yngste ryttere.

**Funktionelle kardiale adaptationer**

Almindeligvis er »sportshjertet« karakteriseret ved normal pumpefunktion. Noget overraskende er der påvist nedsat systolisk funktion hos flere Tour de France-ryttere [3]. Omkring 39% havde venstre ventrikel-uddrivningsfraktion (LVEF) under 60% og ca. 7% havde LVEF under 52%. Lavest målte værdi var 41%. Langt de fleste med nedsat LVEF havde samtidig venstre ventrikel-diameter over 60 mm. Det virker paradoksalt, at professionelle topatleter kan have nedsat pumpefunktion. Fundet står dog ikke alene. Blandt andet er der hos svenske udholdenhedsatleter fundet nedsat LVEF på 40-50% ved måling i hvile. Imidlertid fandt man hos de samme atleter en stigning i LVEF til over 65% under arbejde [14]. Det er derfor tænkeligt, at også cykelrytterne med nedsat hvile-LVEF har normal ventrikelfunktion under arbejde. Desuden må det anføres, at Tour de France-rytternes uddrivningsfraktion blev beregnet ud fra målinger af venstre ventrikels

tværgående kontraktion, hvorved der ikke tages højde for hjertets længdegående kontraktion. Netop det længdegående bevægelsesmønster af hjertet er vist at være optimeret hos udholdenhedsatleter.

Et højt minutvolumen er obligat for en høj iltoptagelse. Da man ikke kan øge den maksimale hjertefrekvens ved træning, er et højt minutvolumen afhængig af et stort slagvolumen. Netop excentrisk hypertrofi giver mulighed for et stort slagvolumen, og i undersøgelser har man påvist en tilsvarende lineær sammenhæng mellem venstre ventrikel masse/volumen og den maksimale iltoptagelse/arbejdskapacitet [4]. Under arbejde øges slagvolumen gradvist til en intensitet på 40-50% af maksimal arbejdskapacitet. Herefter øges minutvolumen overvejende ved pulsstigning uden yderligere stigning i slagvolumen. Imidlertid er der tegn på, at elitecykelryttere er i stand til kontinuerligt at øge både puls og slagvolumen helt op til den maksimale arbejdskapacitet [15]. Forklaringen skal formentlig findes i en forbedret diastolisk funktion af venstre ventrikel. Der er tegn på, at atleter har øget diastolisk relaxationshastighed i længdeaksen. Man taler om *ventricular suction*, hvor venstre ventrikel i den tidlige diastole »suger« blod ind i ventriklen.

Desuden kan den diastoliske fyldning forstærkes af en øget perikardial komplians og af et forøget blod-plasma-volumen, som kan være træningsinduceret. Endelig er det påvist, at Tour de France-ryttere har større diameter af de store arterier end en tilsvarende kontrolgruppe har [7], og aorta udviser forbedret elasticitet og komplians hos udholdenhedsatleter end hos andre, hvilket også kan bidrage til øget slagvolumen under fysisk aktivitet.

**Komplikationer og differentialdiagnostiske overvejelser**

Sportshjertet er muligvis en helt eller i hvert fald delvis reversibel tilstand. Specielt synes det fortykkede myokardium at aftage ved træningsophør, hvorimod dilatationen af hjertet i højere grad persisterer [11, 13]. Resultaterne af enkelte studier

**Tabel 1.** Kardial hypertrofi hos forskellige grupper af cykelryttere. Værdier angivet som middel ± standard error of the mean (SEM).

Studie	LVDD (mm)	IVS (mm)	PW (mm)	LVmassIndex (g/m <sup>2</sup> )	Konkurrenceaniveau
Bekaert, 1981 [4] . . . . .	60 ± 3	12 ± 1	12 ± 1	205 ± 26	Professionel
Hoogsteen, 2003 [5] . . . . .	61 ± 5			164 ± 36	Professionel
Abergel, 2004 [3] . . . . .	60 ± 4	11 ± 1	10 ± 1	138 ± 21	Professionel
Hoogsteen, 2004 [6] . . . . .	61 ± 5			161 ± 37	Professionel
Abergel, 1998 [7] . . . . .	59 ± 4	12 ± 1	10 ± 1	144 ± 22	Professionel
Miki, 1994 [8] . . . . .	54 ± 4			163 ± 31	Professionel
Missault, 1993 [9] . . . . .	56 ± 4	11 ± 3	12 ± 2	170 ± 41	Professionel
Rodriguez, 1995 [1] . . . . .	54 ± 4	13 ± 2	12 ± 2	152 ± 36	Professionel
Fagard, 1983 [11] . . . . .	55 ± 1	13 ± 1	12 ± 1		Elite/professionel
Hoogsteen, 2003 [5] . . . . .	54 ± 6			133 ± 30	Elite/ungdom
Iglesias Cubero, 2000 [12] . . . . .	52 ± 4	11 ± 2	11 ± 2	123 ± 2	Junior/ungdom
Vollmer-Larsen, 1989 [13] . . . . .	60	11	11		Veteran

LVDD = venstre ventrikels slutdiastoliske diameter; IVS = septum interventriculæ; PW = venstre ventrikels bagvæg; LVmassIndex = venstre ventrikels masse pr. kvadratmeter legemsoverflade. Normale øvre grænseværdier for henholdsvis LVDD, IVS og LVmassIndex: 56 mm, 11 mm og 134 g/m<sup>2</sup>.

**Faktaboks**

Professionel cykelsport medfører intens og langvarig belastning af rytternes kardiovaskulære system. Hos rytterne udvikles der udtalt kardial hypertrofi – både som en konsekvens af belastningen, men formentlig også som en forudsætning for, at de kan levere et højt minutvolumen og dermed en høj aerob arbejdskapacitet. Hypertrofien er delvist reversibel, men kan give anledning til differentialdiagnostiske problemer, og langtidskonsekvenserne af de kardielle adaptationer er ikke fuldt belyst.

indikerer, at elitecykelryttere over 40 år har tegn på venstre ventrikel-dysfunktion, som kan være træningsinduceret, men omvendt er der også tegn på, at genoptagelse af træning forbedrer den diastoliske pumpefunktion [8, 11]. Fysisk træning kan måske inducere atrieflimren, men det videnskabelige grundlag for denne antagelse er ikke overbevisende. Det er dog forfatterens personlige erfaring, at incidensen af atrieflimren er høj blandt tidligere elitecykelryttere. Resultaterne af et enkelt studie tyder på, at professionelle cykelryttere har en øget forekomst af strukturelle og arytmiogene forandringer, som minder om dem, man ser ved arytmiogen højre ventrikel-kardiomyopati [16]. Konsekvenserne er alvorlige med stor forekomst af pludselig død. De observerede forandringer kan være en følge af hård fysisk træning eventuelt under indflydelse af doping. Sammenfattende må man imidlertid konkludere, at vi mangler undersøgelser af langtidskonsekvenserne af så fysisk en krævende sport, som professionel landevejscykling er.

Sportshjertet giver ofte anledning til differentialdiagnostiske problemer. De strukturelle forandringer kan illudere patologiske tilstande såsom både hypertrofisk og dilateret kardiomyopati.

Desuden findes hos atleter i almindelighed og hos cykelryttere i særdeleshed hyppigt ekg-forandringer, som kan ligne både iskæmiske og strukturelle forandringer. Endelig er det meget hyppigt med benigne rytmeforstyrrelser som sinusbradykardi, første- og andengrads atrioventrikulær (AV)-blok (mobitz type 1). Indikationen for videre udredning af abnorme fund hos cykelryttere afhænger i høj grad af sammenhængen, hvori de optræder. Et tilfældigt fund hos en asymptomatisk rytter skal ikke nødvendigvis føre til yderligere undersøgelse. Hvis tilstanden derimod er ledsaget af specielt anstrengelsesudløste symptomer (smerter, svimmelhed, nærsynkoper eller uforventelig dyspnø) eller anden disposition til hjertesygdom, er det obligat med grundig kardiologisk udredning, og her er det afgørende, at undersøgeren kender til de specielle fysiologiske adaptationer, der er beskrevet ovenfor.

**Konklusion**

Professionelle cykelryttere har udtalt excentrisk hypertrofi af cor. Det er mere reglen end undtagelsen, at hjertets kammerdimensioner overskrider de normale grænseværdier. Den kardielle adaptation er formentlig en konsekvens af voluminøse træningsmængder med både volumen og trykbelastning af cor, men også en forudsætning for at kunne præstere og have succes som cykelrytter. Nedsat LVEF forekommer i hvile, men denne normaliseres formentlig under arbejde. Excentrisk hypertrofi sammenholdt med forbedret diastolisk ventrikelfunktion muliggør betydelige stigninger i slag/minut-volumen og dermed høj arbejdskapacitet. Andre fysiologiske forhold inklusive muskulære metaboliske processer, restitutionsevne og psykiske resurser er vigtige for en professionel cykelrytter, men frem for alt synes det at være nødvendigt at have et »stort hjerte«.

Korrespondance: Lars Juel Andersen, Kardiologisk Afdeling P, Amtssygehuset i Gentofte, DK-2900 Hellerup. E-mail: ljuel@ofir.dk

Interessekonflikter: Ingen angivet

**Litteratur**

1. Fernández-García B, Pérez-Landaluce J, Rodríguez-Alonso M et al. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1002-6.
2. Lucia A, Hoyos J, Pérez M et al. Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France? *Br J Sports Med* 2004;38:636-40.
3. Abergel E, Chatellier G, Hagege AA et al. Serial left ventricular adaptations in world-class professional cyclists. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:144-9.
4. Bekaert I, Pannier JL, van De Weghe C et al. Non-invasive evaluation of cardiac function in professional cyclists. *Br Heart J* 1981;45:213-8.
5. Hoogsteen J, Hoogeveen A, Schaffers H et al. Left atrial and ventricular dimensions in highly trained cyclists. *Int J Cardiovasc Imaging* 2003;19:211-7.
6. Hoogsteen J, Hoogeveen A, Schaffers H et al. Myocardial adaptation in different endurance sports: an echocardiographic study. *Int J Cardiovasc Imaging* 2004;20:19-26.
7. Abergel E, Linhart A, Chatellier G et al. Vascular and cardiac remodeling in world class professional cyclists. *Am Heart J* 1998;136:818-23.
8. Miki T, Yokota Y, Seo T et al. Echocardiographic findings in 104 professional cyclists with follow-up study. *Am Heart J* 1994;127:898-905.
9. Missault L, Duprez D, Jordaens L et al. Cardiac anatomy and diastolic filling in professional road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1993;66:405-8.
10. Rodriguez Reguero JJ, Iglesias Cubero G, López de la Iglesia J et al. Prevalence and upper limit of cardiac hypertrophy in professional cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:375-8.
11. Fagard R, Aubert A, Lysens R et al. Noninvasive assessment of seasonal variations in cardiac structure and function in cyclists. *Circulation* 1983;67:896-901.
12. Iglesias Cubero G, Batalla A, Rodriguez Reguero JJ et al. Left ventricular mass index and sports: the influence of different sports activities and atrial blood pressure. *Int J Cardiol* 2000;75:261-5.
13. Vollmer-Larsen A, Vollmer-Larsen B, Kelbæk H et al. The veteran athlete: an echocardiographic comparison of veteran cyclists, former cyclists and non-athletic subjects. *Acta Physiol Scand* 1989;135:393-8.
14. Sundstedt M, Hedberg P, Jonason T et al. Left ventricular volumes during exercise in endurance athletes assessed by contrast echocardiography. *Acta Physiol Scand* 2004;182:45-51.
15. Gledhill N, Cox D, Jamnik R. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1116-21.
16. Heidbüchel H, Hoogsteen J, Fagard R et al. High prevalence of right ventricular involvement in endurance athletes with ventricular arrhythmias. Role of an electrophysiologic study in risk stratification. *Eur Heart J* 2003;24:1473-80.