

Försämrad muskelfunktion vid förhöjd temperatur eller inte?

Muskeltemperaturen kan stiga kraftigt under arbete. Men det är inte klarlagt om förhöjd temperatur kan skada muskeln eller nedsätta muskelfunktion. Våra musklers förmåga att producera kraft och utföra rörelser som kräver stor effektutveckling minskar under ett hårt fysiskt arbete. Samtidigt leder det fysiska arbetet till att kroppstemperaturen ökar. Det är inte klarlagt om förhöjd temperatur kan leda till försämrad muskelfunktion.



JOSEPH BRUTON

PH.D. INSTITUTIONEN FÖR
FYSIologi och FARMA-
KOLOGI, KAROLINSKA
INSTITUTET.

 Hos MÄNNISKAN är temperaturen i centrala vävnader c:a 37 °C i vila och den kan stiga med flera grader under fysiskt arbete. Temperaturökningens storlek beror på arbetets varaktighet och intensitet. I vila är temperaturen i arm- och benmuskler vanligen något lägre (35-36 °C) än kärntemperaturen. Muskeltemperaturen kan stiga kraftigt under arbete och temperaturer så höga som 41 °C har uppmätts i vastus lateralis under hårt fysiskt arbete (Saltin et al. 1972, Gonzalez-Alonso et al. 1999, Nybo, 2008). I djurförsök har ännu högre muskeltemperaturer (44 °C) uppmätts under arbete.

Under arbete stiger muskeltemperaturen snabbare än kärntemperaturen eftersom när muskelcellernas lagrade kemiska energi omvandlas till kontraktion, så går en del av denna energi alltid förlorad som värme. Detta medför att för en enskild muskel så beror temperaturökningen på hur kraftigt och hur ofta muskeln kontraheras.

Kan förhöjd temperatur hämma muskelfunktionen?

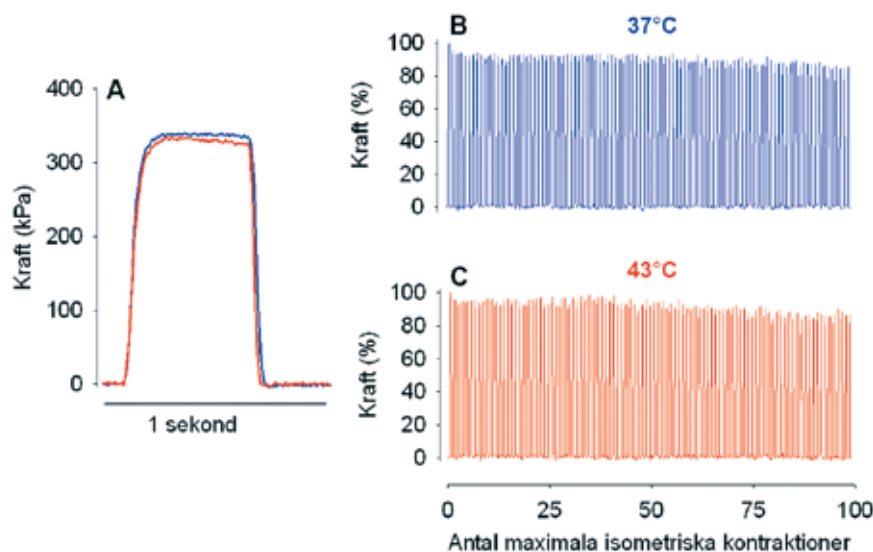
Det har länge diskuterats om förhöjd temperatur hämmar muskelfunktionen och/eller skadar muskeln (Clarke et al. 1958). Studier med passiv uppvärm-

ning av muskler med 1-2 °C visar på antingen oförändrad eller lätt nedsatt muskelfunktion (Bishop, 2003). Detta är dock en temperaturökning långt under den som registrerats i kraftigt arbetande human muskel. Frågan om huruvida en markant ökning av muskeltemperaturen kan begränsa den fysiska prestationsförmågan i uthållighetsidrotter är fortfarande obesvarad.

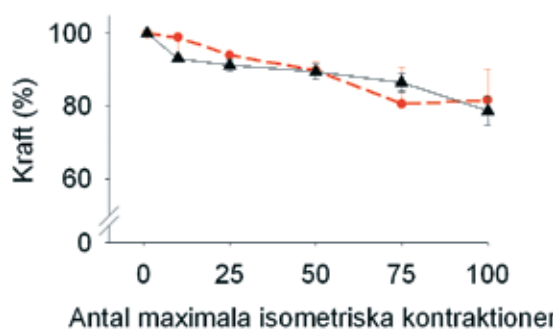
Hur kan förhöjd temperatur skada muskeln?

Det finns flera teoretiska skäl till varför förhöjd muskeltemperatur kan vara skadlig under långvarigt arbete och påskynda trötthetsutveckling (Allen et al. 2008, Febbraio 2000, Reid 2008).

- A. Mitokondriernas funktion och den oxidativa metabolismen är nedsatt vid temperaturer över 40 °C (Brooks et al. 1971).
- B. Nedbrytningen av muskelglykogen går snabbare vid förhöjda temperaturer och brist på muskelglykogen är en orsak till utmattning under långvariga arbeten (t.ex. maratonlöpning).
- C. Energiförbrukningen är generellt snabbare vid höga temperaturer.
- D. Produktionen av fria syreradikaler ("reactive oxygen species", ROS)



Figur 1. A. Kraftutvecklingen under maximal kontraktion i en långsam (soleus) muskelcell vid normal (37 °C, blå) och hög temperatur (43 °C, röd). Observera att kraftutvecklingen är mycket lika vid de två temperaturerna. Under en serie av 100 upprepade maximala kontraktioner (varje "spik" motsvarar en kontraktion som i A) ser man endast en måttlig nedgång i kraft (~ 15%) både vid 37 °C (B) och 43 °C (C).



Figur 2. Nedgången i kraft i en långsam muskelcell under en serie 100 maximala kontraktioner är måttlig (~15%) både vid hög temperatur (43 °C, röd) och vid hög temperatur (43 °C) plus 10 μM väteperoxid (ROS, svart).

ökar i muskler som utsätts för höga temperaturer.

Det är svårt att utföra experiment på människa där man direkt testat om en muskeltemperaturökning motsvarande den man uppmätt under tungt arbete leder till försämrade muskelfunktion. Vi beslutade därför att studera denna frågeställning med hjälp av isolerade enskilda snabba eller långsamma muskelceller från mus (Place et al. 2009). Dessa enskilda muskelceller har en rad fördelar. De går att studera under strikt kontrollerade förhållanden. De kan stimuleras till producera upprepade kontraktioner och på så sätt tröttnas ut. Under stimuleringsperioden kan kraft och jonkoncentration (t ex Ca^{2+} med fluorescerande indikator) mätas kontinuerligt. Slutligen är det möjligt att utsätta dem för extrema förhållanden som skulle vara svåra att

upprätthålla i humanförsök.

Hög temperatur har ingen effekt på kraftutveckling eller uttröttnings.

I våra försök stimulerades muskelcellerna först vid deras normala temperatur och 60 minuter senare upprepades stimuleringen vid en temperatur som var 6 °C högre, dvs den största temperaturökning som registrerats i arbetande human muskel. Våra resultat visar att förmågan att upprätthålla en hög kraftutveckling under tröttande stimulering inte försämrades av den höga temperaturen (Figur 1, långsam fiber). Vi utförde också motsvarande försök på snabba muskelfibrer. Dessa tröttades med upprepade maximala kontraktioner tills deras kraft sjunkit till 40% av det ursprungliga värdet. Återigen var det ingen skillnad mellan uttröttningsförloppet vid normal och 6 °C förhöjd temperatur.

Slutligen bestämde vi oss för att skapa den värsta tänkbara situationen för en arbetande muskelcell genom att utsätta den för en hög temperatur och en mycket hög koncentration av en typ av ROS, väteperoxid. Till vår förvåning ledde inte heller denna extrema miljö till snabbare uttröttnings (Figur 2).

Sammanfattningsvis visar våra resultat att höga temperaturer inte har någon negativ inverkan på muskelfunktionen som sådan. Detta betyder dock inte att ökad kroppstemperatur inte påverkar prestationsförmågan under fysiskt arbete. Försämrade neuronal aktivering av musklerna under långvarigt arbete (central tröttnings) är en orsak till försämrade prestation och förhöjd kroppstemperatur kan vara en orsak till central tröttnings (Nybo, 2008). Dessutom leder en förhöjd temperatur till aktivering av homeostatiska mekanismer för att öka värmeavgivandet, vasodilatation i hudens blodkärl och svettning, och detta kan ge problem i form av uttorkning och förändrad elektrolytbalans.

Kontakt:

E-post: joseph.bruton@ki.se

Referenser

- Allen DG, Lamb GD & Westerblad H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 88, 287-332.
- Bishop D. (2003) Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Med.* 33: 439-454.
- Brooks GA, Hittelman KJ, Faulkner JA & Beyer RE. (1971). Temperature, skeletal muscle mitochondrial functions, and oxygen debt. *Am J Physiol.* 220: 1053-1059.
- Clarke RS, Hellon RF & Lind AR. (1958). The duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures. *J Physiol.* 143, 454-473.
- Febbraio MA. (2000). Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc Sport Sci Rev.* 28: 171-176.
- Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T & Nielsen B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol.* 86: 1032-1039.
- Nybo L. (2008). Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol.* 104: 871-878.
- Place N, Yamada T, Zhang SJ, Westerblad H, Bruton JD. (2009). High temperature does not alter fatigability in intact mouse skeletal muscle fibres. *J Physiol.* 587: 4717-24.
- Reid MB. (2008). Free radicals and muscle fatigue: Of ROS, canaries, and the IOC. *Free Radic Biol Med.* 44: 169-179.
- Saltin B, Gagge AP, Bergh U & Stolwijk JA. (1972). Body temperatures and sweating during exhaustive exercise. *J Appl Physiol.* 32, 635-643.