

Ny teknik ökar möjligheterna att återskapa viktiga funktioner

Muskelfysiologiska principer spelar allt större roll för kirurgens ställningstagande i samband med rekonstruktion av muskelfunktioner. Nyligen introducerade tekniker för peroperativ mätning av längden av muskelns minsta kontraktile enhet – sarkomeren – ger ökade möjligheter att uppnå optimalt längd-kraftförhållande vid sen-muskeltransfereringar.

Tekniken är speciellt viktig vid kirurgisk rekonstruktion av hand-armfunktion hos tetraplegiker där endast få motoriska enheter står till förfogande. Tillsammans med förbättrade pre- och postoperativa träningsprinciper och möjligheten att implantera elektroniska muskelstimulatorer ökar därmed chansen att återskapa viktiga handfunktioner efter cervikal spinal skada.

Patienter med tetraplegi efter traumatisk spinal skada har stora motoriska och sensoriska bortfall och förlust av funktion i både övre och nedre extremiteten. Den neurologiska lesionen och dess funktionella effekt är oftast asymmetrisk och avviker i regel från den som skulle förutspås utifrån nivån för den cervikala skelettskadan.

Det är en av anledningarna till att kirurgisk muskelrekonstruktion bör utföras först när bortfallet är stationärt, dvs tidigast cirka ett år efter skadan. Under tiden fram till dess är det viktigt att använda de intakta motoriska enheterna och samtidigt minska risken för stelhet i mjukdelarna.

Författare

JAN FRIDÉN

docent, överläkare, handkirurgiska kliniken och spinalenheten, Sahlgrenska Universitetssjukhuset/Sahlgrenska, Göteborg.

Handrehabiliteringen första året efter cervikal spinal skada ska i första hand syfta till att bibehålla passivt och aktivt rörelseomfång. Det förbättrar också cirkulation och vävnadskvalitet vilket är viktigt för att undvika tryckskador från ortoser. Särskild uppmärksamhet ägnas åt att förebygga klohandställning, kontrakturer i fingrarnas proximala interfalangealleder och adduktionskontraktur i tummen.

Stora framsteg senaste 20 åren

Ända fram till 1970-talet var handrehabilitering vid tetraplegi fokuserad på ortosbehandling. Kirurgisk rekonstruktion innefattade enbart passiva tenodeser och artrodeser av större leder. Kirurgisk muskel-sentransferering i arm och hand har de senaste 20 åren utvecklats dramatiskt i takt med ökad erfarenhet och alltmer avancerad kirurgisk teknik. Det finns därför nu en större optimism än någon gång tidigare att återskapa viss motorisk kontroll med förbättrad livskvalitet och arbetskapacitet som resultat hos svårt paralyserade individer.

För närvarande inriktas forskning och utveckling på att:

1. Öka antalet möjliga aktiva transfe-

rerings (viljemässigt kontrollerade rörelser av tillräcklig styrka).

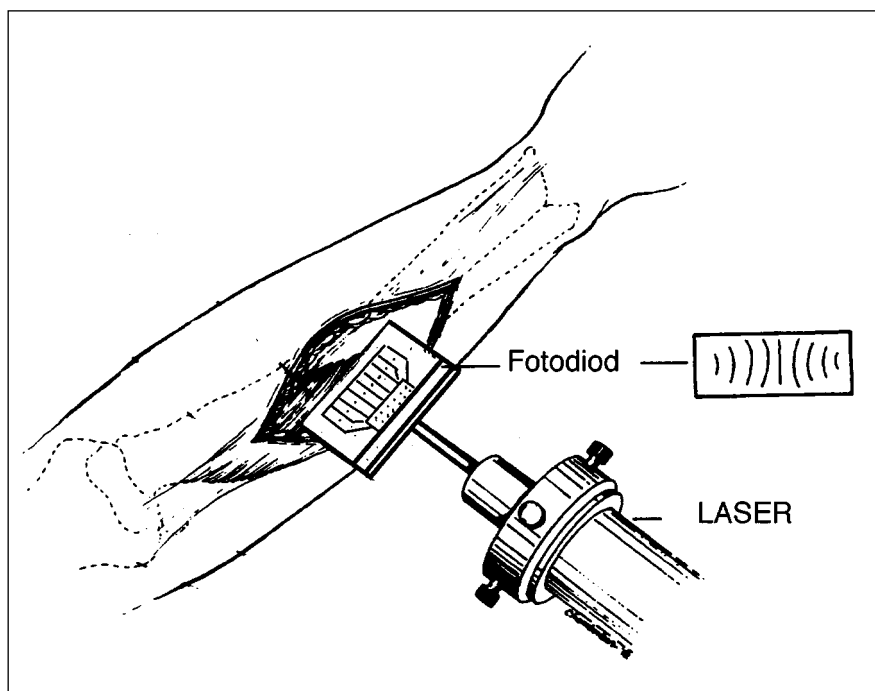
2. Peroperativt optimera den transferrade muskelns längd-tensionsförhållande.
3. Elektroniskt kontrollera paralyserade muskler (funktionell elektrisk stimulering).

Styrketräning inför operation

Ökning av antalet aktiva muskeltransfereringar innebär uppträning av potentiell motor till styrkegrad 4 eller högre enligt internationell klassificering [1]. Det kan exempelvis vara träning av armbågsböjaren *m brachioradialis* inför operation där denna muskel ska transfereras till paretiska fingerböjare. För att den transfereringen ska vara meningsfull måste den preoperativa styrkan vara tillräcklig, särskilt med tanke på den postoperativa immobiliserings negativa effekter.

Träningen innebär armbågsböjning med stöd av terapeut och hemträning eventuellt kompletterad med elektrisk

Figur 1. Metod för peroperativ mätning av sarkomerlängd. Laserkällan placeras med sin mest distala del (3 x 3 mm stort prisma med aluminiumreflektor) under en fripreparerad muskelbunt.

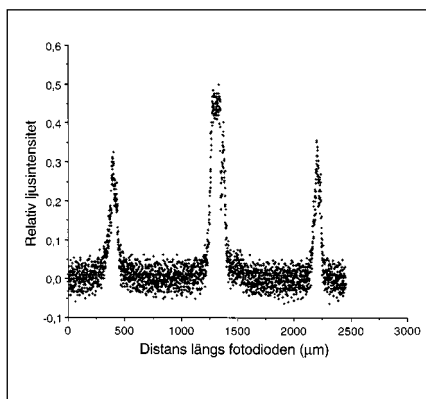


stimulering med ytelektroder. Träningen innefattar både dynamiska och isometriska moment för att tillgodose amplitud och möjliggöra rekrytering av så många motoriska enheter som möjligt. Belastningen bör vara hög i förhållande till maximal styrka. En visuell återkoppling av genererad muskelstyrka ökar i regel kvaliteten på träningen.

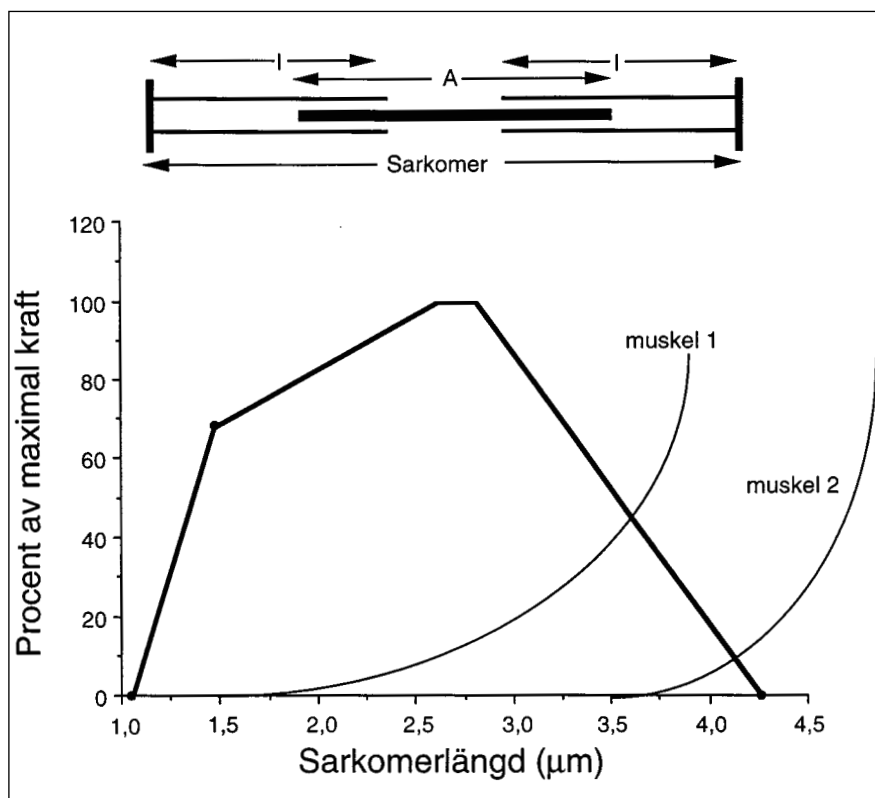
Muskelnslängd-tensionsförhållande

Optimering av den transfererade muskelnslängd-tensionsförhållanden utgör en ny och spännande utveckling inom området kirurgisk rekonstruktion av muskelfunktion vid tetraplegi. Vid transfereringen placeras den nya motorn i en sådan position att maximalt vridmoment uppnås i önskad ledvinkel. Vid transfereringen är muskeln distala senände fri, och muskeln kan i regel sträckas ut flera centimeter från vilolängd.

Den passiva tensionen som kirurgen tidigare litat till för placeringen av sensutturen har dock en okänd relation till den muskellängd som genererar mest kraft. Teknik har därför utvecklats för peroperativ mätning av längden av muskelnslängd minsta kontraktile enhet, dvs sarkomeren [2] (Figur 1 och 2).



Figur 2. Registrering av ljusintensitet efter passage av laserljus genom muskelfiberbunt. Metoden bygger på det diffraktionsmönster som åstadkoms av laserljus som transmitteras vid passage genom en bunt av muskelfibrer och dessas A- och I-band. Muskelfibern är uppbyggd av ett stort antal sarkomerer, seriekopplade och av samma längd. Det arrangemanget är tillräckligt regelbundet för att muskelfibern skall kunna fungera som diffraktionsmedium. Ett monokromatiskt, absolut parallellt ljus, dvs laser, som lyser genom muskelfibrer kommer därför att ge upphov till ett diffraktionsmönster av parallella linjer. Fotodioden uppfattar positionen av intensitetstopparna och en dator avläser avstånden och presenterar sarkomerlängden i mikrometer. Avståndet mellan intensitetstopparna står i direkt relation till sarkomerlängden och sarkomerlängden är beroende av ledvinkel eller vid transferering graden av passiv sträckning av muskeln.



Figur 3. Övre delen av figuren illustrerar sarkomeren med tjocka myofilament centralt (A-bandet) och tunna filament bilateralt (I-bandet). Den regelbundna bandstrukturen ger upphov till diffraktion vid genomlysning med laserljus. Diffraktionsmönstret används för bestämning av sarkomerlängden. Kurvan beskriver sambandet mellan sarkomerlängd och isometrisk kraft i human skelettmuskulatur. Observera att den största kraften erhålls när muskelfibrernas sarkomerer har en längd i intervallet 2,6–2,8 µm. De böjda linjerna representerar två muskler med helt olika passiv spänning. Muskel 2 har en relativt liten passiv spänning vid en given sarkomerlängd och översträcks därför om enbart den passiva spänningen är vägledande för vid vilken längd muskeln ska fästas i samband med transfereringen. Resultatet blir att den kan generera ingen eller mycket liten aktiv kraft.

Sarkomerlängden har ett definierat samband med aktiv kraft och därför kan kirurgen med hjälp av detta instrument inserera muskeln i en längd som motsvarar toppen på längd-tensionskurvan för en given ledvinkel [3]. Sarkomerens aktiva kraft står i ett samband som beskrivs i Figur 3 och transfereringen bör inriktas på att uppnå maximal kraft, dvs en sarkomerlängd som motsvarar cirka 2,6 µm [4].

Om den passiva tensionen är mycket liten för en given isometrisk kraftnivå (Figur 3, muskel 2) innebär det att kirurgen misstolkar och sträcker muskeln för mycket vid transfereringen. För att uppnå samma passiva tension som muskel 1 forceras muskelfibrerna ut till en längd som ligger långt till höger om längd-tensionskurvan (muskel 2), dvs en situation där ingen aktiv kraft kan genereras om inte nya sarkomerer adderas och längden för den individuella sarkomeren kan vänsterförskjutas till ett fysiologiskt läge [5].

Kirurgen har hittills saknat ett användbart verktyg för fysiologisk inställning av muskellängd och varit helt hänvisad till sin egen erfarenhet av sambandet mellan passiv tension och slutlig funktion. Det har i regel inneburit mycket långa sarkomerlängder och höga passiva spänningar, vilket sannolikt bör undvikas eftersom det ökar risken för glidning i sensutturen.

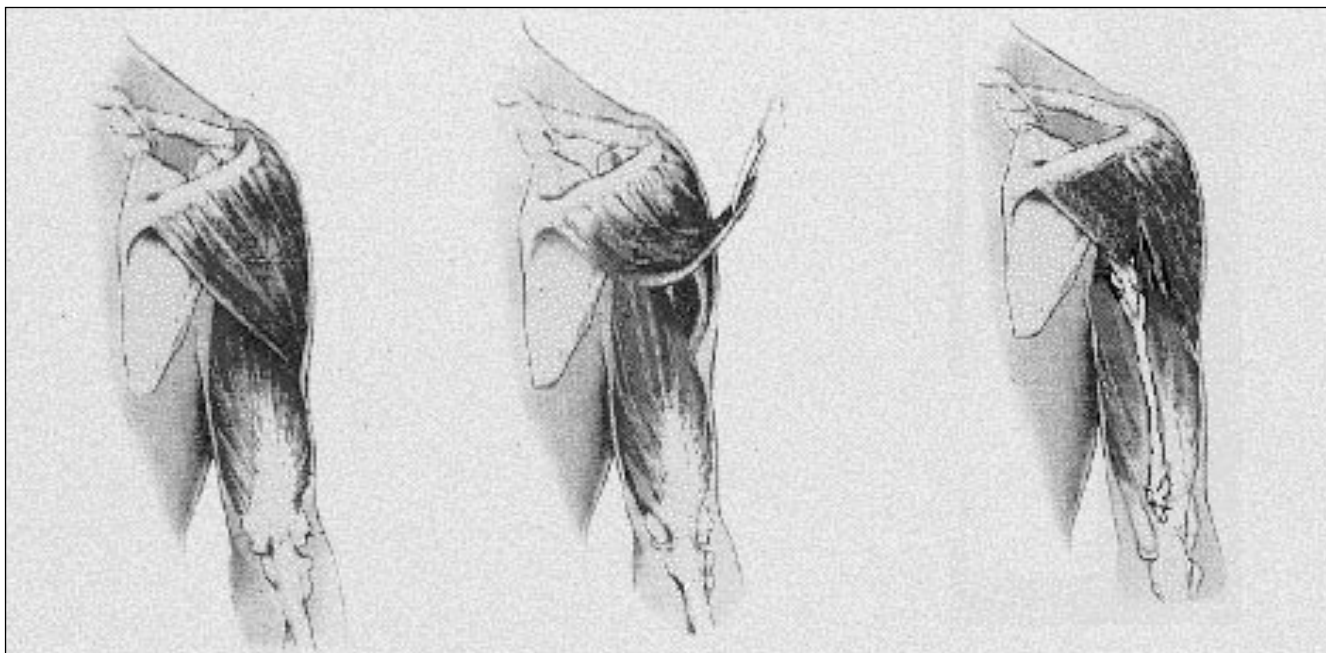
Ett exempel på en sådan potentiellt riskabel situation är vid rekonstruktion av armbågssträckare med transplanterad sena som kopplas till deltoideus-

muskeln (Figur 4). Den ska fungera som ny motor efter transplantatets inläkning, men hävstångarna blir stora och en passiv eller aktiv armbågsböjning ger upphov till mycket stora spänningar som äventyrar hållfastheten i sensutturen.

Högprioriterade forskningsområden vid tetraplegikirurgi är därför att utröna sambandet mellan passiv spänning och aktiv kraft samt senskarvarnas optimala utförande och hur dessa bäst kan skyddas.

Funktionell elektrisk stimulering

Tvärnsnittslesion av ryggmärgen bryter flödet av impulser från hjärnan till musklerna. Övre motoneuronen i hjär-



Figur 4. Vid rekonstruktion av tetraplegikers armbågssträckare utnyttjas den bakre delen av skulderledsabduktorn *m deltoideus*. Denna portion löses från sitt fäste på proximala humerus och kopplas sedan till ett fritt sentransplantat som infästes i *m triceps brachii*'s distala sensspiegel. Stora passiva spänningar kan åstadkommas med åtföljande ökad risk för glidning i senskarvarna och sämre funktionellt slutresultat.

nan har förlorat kontakten med de nedre motorneuronen i ryggmärgen. De nedre motorneuronen bibehåller sin impulsförtledande funktion och kan stimuleras. Funktionell elektrisk stimulering (FES) utnyttjar detta genom att elektriskt stimulera nervfibrerna [6, 7]. Denna stimulering kan programmeras av en dator, och till och med komplexa rörelser kan åstadkommas. Stimuleringen kan vara kutan eller via permanent implanterade elektroder.

Funktionell elektrisk stimulering har flera användbara funktioner vid tetraplegi:

1. Kartläggning av restfunktioner med hjälp av kutana elektroder.
2. Programmerad stimulering via kutana elektroder kan användas för att bibehålla eller öka muskelmassa och förbättra välbefinnandet.
3. Implanterade elektroder med datorprogrammerad stimulering via radiofrekvenskontroll kan användas som tillägg till transfereringskirurgi.

Denna teknik har för närvarande använts i ett 50-tal fall vid ett fåtal tetraplegicentra i världen. Inom de närmaste åren bedöms tekniken kunna erbjuda ett noggrant utvalt patientklientel.

Det är här viktigt att förstå det delikata samspelet mellan antagonister och synergister för att uppnå balans. Om till exempel FES används för att styra fingerflexion erhålls vid stimulering samtidigt ett starkt vridmoment för handledsflexion. För att kunna uppnå en funktionell fingerflexion måste handledsflexionen balanseras med tillräckligt starka handledsextensorer (sammanlagd grad 7). Det åstadkoms med förstärkning av handledssträckarna genom muskeltransferering (vanligt-

vis *m brachioradialis* till *m extensor carpi radialis brevis* vid C5-lesion) och uppträning innan FES-kirurgin utförs. Vid C6-skada föreligger vanligen god handledssträckarfunktion.

Denna typ av elektroniskt styrd muskelfunktion är kostsam och fortfarande under utveckling. Det är viktigt att poängtera att den kan introduceras först när ett etablerat program för sentransfereringskirurgi och ett terapeutiskt team har nått hög klass.

Referenser

1. McDowell CL, Moberg EA, Smith AG. International conference on surgical rehabilitation of upper limb in tetraplegia. *J Hand Surg* 1979; 4A: 387-90.
2. Lieber RL, Loren G, Fridén J. *In vivo* sarcomere length measurements of human wrist extensor muscles. *J Neurophysiol* 1994; 71: 874-81.
3. Fridén J, Lieber RL. Muscle architecture basis for neuromuscular control of the forearm and hand. In: Wing A, Haggard P, Flanagan R, eds. *Hand and brain: Neurophysiology and psychology of hand movement*. San Diego: Academic Press, 1996: 69-79.
4. Lieber RL, Fridén J. Intraoperative measurement and biomechanical modeling of the flexor carpi ulnaris-to-extensor carpi radialis longus tendon transfer. *J Biomech Eng* 1997; 119: 386-91.
5. Fridén J, Lieber RL. Evidence for muscle attachment at relatively long lengths in tendon transfer surgery. *J Hand Surg* 1998; 25A: 105-10.
6. Peckham PH, Keith MW, Freehafer AA. Restoration of functional control by electrical stimulation in the upper extremity of the quadriplegic patient. *J Bone Joint Surg (Am)* 1988; 70: 144-8.
7. Keith MW, Peckham PH, Thrope GB, Buckett JR, Stroh KC, Menger V. Functional neuromuscular stimulation neuroprostheses for the tetraplegic hand. *Clin Orthop* 1988; 233: 25-33.

Summary

Reconstructive hand surgery after cervical spinal cord injury: New techniques facilitate restoration of important motor skills

Jan Fridén

Läkartidningen 1998; 95: 3072-4.

The sarcomere is the basic unit of force generation in skeletal muscle. Since muscle force generation is highly dependent on sarcomere length, it is important to know the normal range of sarcomere length if informed decisions are to be made regarding surgical procedures affecting muscle length, such as tendon transfer or lengthening.

The article reports intraoperative sarcomere length measurement with a laser diffraction technique. Sarcomere length as a function of joint angle was monitored during various tendon transfers performed to restore lost finger, thumb, wrist, forearm and elbow function in tetraplegics. The intraoperative measurements were essentially the same as those obtained in cadaveric muscle sarcomere models.

Muscle fiber length, torque and tendon length are the most important structural determinants of the operating range and torque profile of each motor, while the relation between passive tension and active force is the most critical factor in making surgical decisions.

Correspondence: Associate Professor Jan Fridén, Dept of Hand Surgery, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, S-413 45 Göteborg, Sweden.