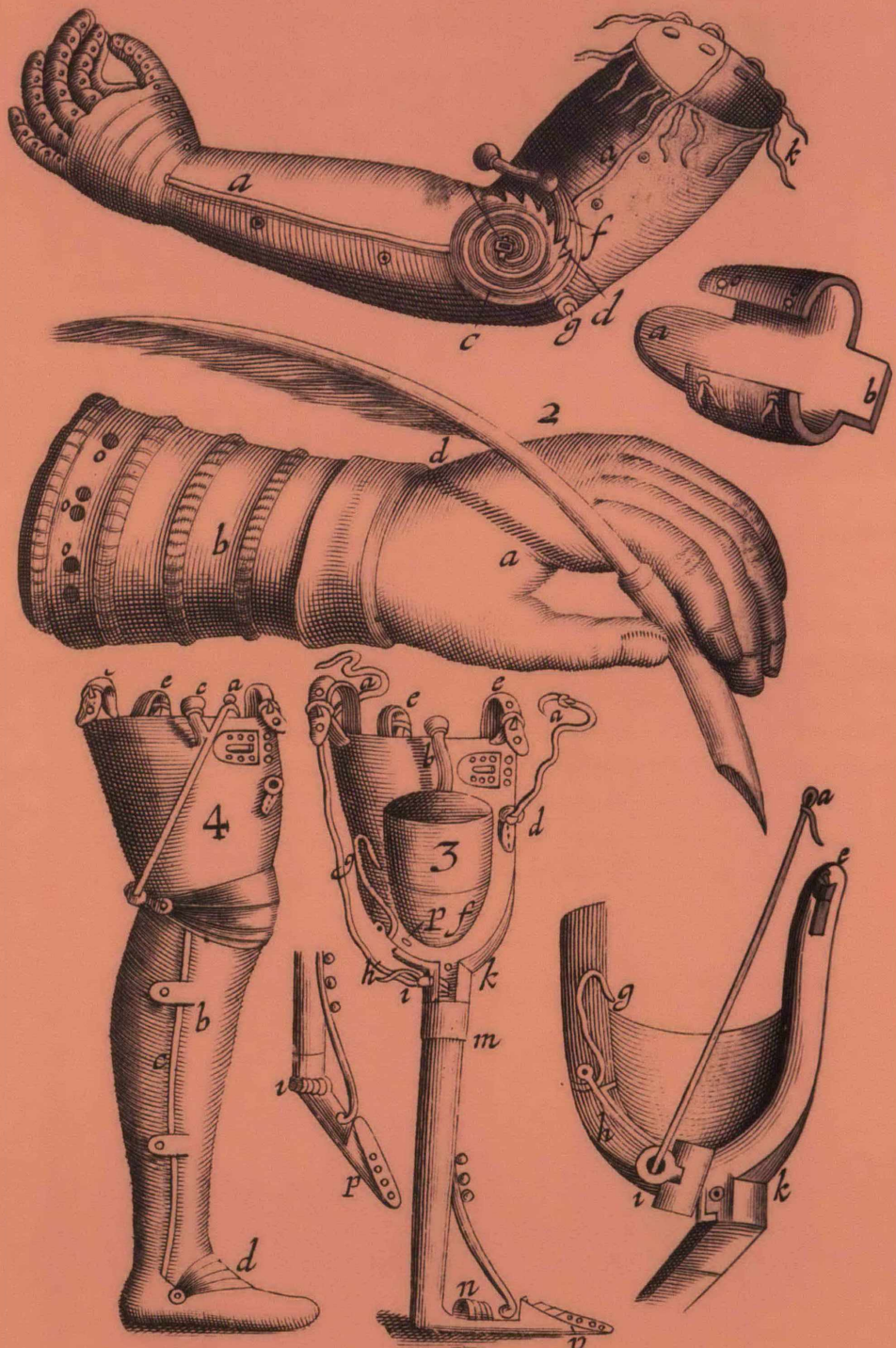
TRÄBEN, ROBOTHÄNDER OCH ODLADE ORGAN

om proteser och artificiella kroppsdelar


a
k
f
d
c
g
a
b
2
d
b
a
4
3
d
b
c
d
h
i
k
m
i
p
n
p
a
e
g
h
i
k

Träben och krokar. Är det vad vi tänker på när vi talar om proteser? Allt fler kroppsdelar och sinnen kan vi ersätta på konstgjord väg. Futuristiska robothänder som kan knyta skosnören och kolfiberben anpassade för löpning där formen inspirerats av gepardens anatomi. Men vad är egentligen en protes? Är det människans försök att efterhärma naturens sinnrika originaldesign? Är det ett sätt att återföra funktionsnedsatta individer inom det vi betraktar som normalfåran? Eller är det en lek med våra kroppars form och funktion?

Av: Lotten Wiklund

GULDÖGAT

Ett av de allra äldsta bevarade exemplen på en konstgjord kroppsdel är den stortåprotes som hittats i en egyptisk grav vid en utgrävning år 2000. Tån som är tillverkad i trä och läder satt på de mumifierade kvarlevorna av en medelålders kvinna som dog någon gång mellan 1000-talet och 600-talet f. Kr. Men är tån verkligen att betrakta som en protes? Använde kvinnan den artificiella kroppsdelen under sin livstid eller placerades den på henne tålösa fot efter hennes död, som en utsmyckning för att förbereda hennes kropp på livet efter detta? En protes, menade forskare vid University of Manchester, måste klara av belastningen från en kropp som går upprätt, och för att motverka sår och infektioner ska stumpen hållas ren, och därför måste tån vara lätt att ta av och sätta dit igen.

För att ta reda på om kvinnan hade använt tån under sin livstid lät man tillverka kopior som sedan testades av ett antal tålösa personer. Åtminstone en av försökspersonerna tyckte att tån fungerade mycket bra att promenera runt med och att den bidrog till att förbättra balans och rörelseförmåga. Men trots försöken har forskarna inte lyckats fastslå om tån verkligen var en protes eller om den ska ses som en sorts rituellt objekt.

Men ännu äldre är det guldöga som hittades i en 5 000 år gammal grav vid gränsen mellan Iran och Afghanistan år 2007. Protesen hade tillhört en kvinna som dog när hon var i 25-årsåldern. Ögat, som är noggrant utformat och dekorerat med gravyr, hade tillverkats i ett lätt material, en form av mineralpasta, och belagts med ett tunt lager gnistrande guld.

Undersökningar av både kraniet och själva ögat visar att kvinnan burit protesen under sin levnad men också att den orsakat infektioner och varbildning. Guldögat vållade troligtvis obehag och lidande, men kvinnans uppenbarelse



Artificiell arm i stål, mässing och läder, 1840–1940-tal. Science Museum, London.



Proteserna som är tillverkade 1966 har tillhört ett barn som föddes helt utan armar och med missbildade ben till följd av att modern ätit preparatet talidomid (Neurosedyn) under graviditeten.
Science Museum, London.

måste ha varit spektakulär och besynnerlig. Vilken funktion fyllde guldögat egentligen? Det vet vi inte idag.

KRIG OCH KATASTROFER

Det är framförallt katastrofer som drivit på utvecklingen av artificiella kroppsdelar. De gamla proteserna i föremålsmagasinet på Science Museum i London väcker många och motstridiga känslor. Här har några av mänskligheten många tragedier satt sina spår. Första världskrigets brutala människoslakt dödade omkring 20 miljoner människor, skadade och lemlästade ännu fler. I kölvattnet av kriget, på 1910 och 20-talen, exploderade därför behovet av proteser.

Och när det tyska läkemedelsföretaget Grünenthal marknadsförde preparatet talidomid – i Sverige känner vi det som Neurosedyn – som ett säkert sömnmedel för gravida kvinnor fick det katastrofala följder. Läkemedlet visade sig orsaka grava fosterskador, vilket ledde till att ett okänt antal foster dog medan andra överlevde men föddes med svåra missbildningar. Under de första åren på 1960-talet föddes omkring 10 000 barn som saknade ben eller armar. När man tittar på samlingen blir det mycket påtagligt vilka olika roller proteserna fyllt i sina användares liv. Några objekt är visserligen präglade av ålder, men i övrigt helt intakta och uppenbart mycket sparsamt använda. Kanske så otympliga och svårbemästrade att livet med protes blev knepigare än det utan.

Andra är slitna, nötta och lagade gång på gång med de material som för tillfället funnits till hands, som vore de ägarens mest älskade tillhörighet. Under perioder när protestillverkning och ortopedisk verksamhet inte tillhandahölls via allmänna medel och när individens egna ekonomiska förutsättningar helt och hållet avgjorde vilken hjälp som fanns att tillgå, blev variationen på utformning och sofistikation mycket stor. En närmast naturalistiskt utformad hand i varsamt behandlat lindträ är konstruerad för att ta ett ackord på ett piano. En konstfullt utsmyckad metallhand från viktoriansk tid påminner mest om ett skelett och känns med dagens ögon närmast makaber.

De små benställningarna med fastgjutna skor ger en tydlig känsla av att bäraren, i detta fall ett litet barn, genom sina protesben skulle ges möjlighet till ett "normalt" liv, men utformningen vittnar om ett närmast institutionaliserat tvång på normalitet.

AMPUTATIONER

Arkeologiska fynd visar att människor utfört amputationer i tusentals år. Lika länge har behovet av proteser funnits. Ingreppen utfördes på grund av skador, sjukdomar eller till och med som straff.

I dagens Sverige genomförs omkring 2 600 amputationer årligen. Den vanligaste orsaken till amputationer idag är försämrad blodcirkulation som leder till smärta och svårläkta sår.

MANNEN MED ROBOTHANDEN

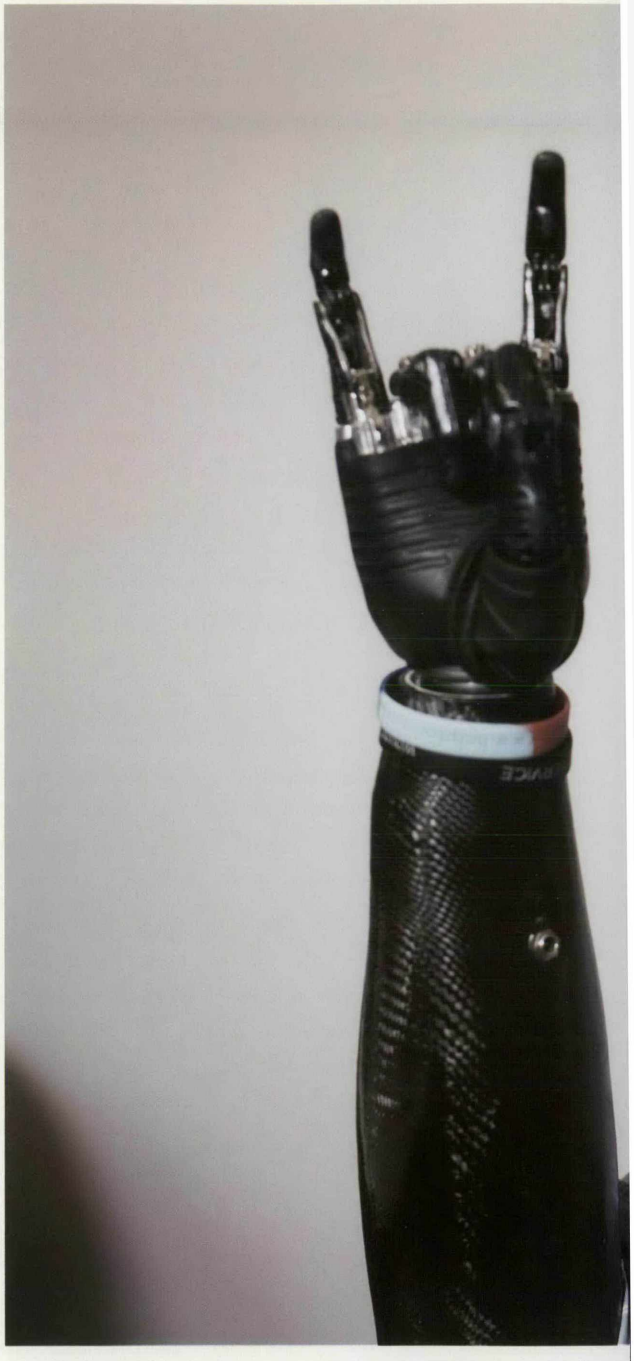
Proteserna flyttar in i våra kroppar, växer samman och blir osynliga. Varje år genomförs omkring 100 000 ögonoperationer i Sverige för att ersätta en av starr grumlad lins med en protes. Detta gör konstgjorda linser till den absolut vanligaste formen av proteser.

I andra fall är tekniken i kroppen mer påtaglig. Nigels Acklands hand påminner lite om ett skelett i plast, metall och gummi. Varje finger har en liten motor och kan röra sig separat. Med handen kan han knäcka ägg, låsa upp dörren och arbeta i trädgården.

Det var 2006 som olyckan skedde. Nigel, som arbetade i ett smältverk, skulle rengöra en maskin. När maskinen satte igång fastnade han. Räddningstjänsten fick inte loss honom, istället lyckades han gräva sig loss på egen hand med en skruvmejsel. Underarmen var helt krossad.

Efter ett halvår, när Nigel hade genomgått åtskilliga operationer med syfte att rekonstruera hud, muskulatur och nerver, var arm och hand fortfarande helt obrukbara.

Att ha en kroppsdel som inte fungerar är jobbigare än man kan föreställa sig. Smärta, infektioner, sårbildning och dålig prognos byggde upp en enorm frustration. På läkarnas inrådan bestämde sig Nigel till slut för att amputera. ”Många tycker att det låter som ett drastiskt



Nigel Ackland med sin protes BeBionic från RSL Steeper.





Den kosmetiska gummihandsken som kan träs på protesen är nästan otäckt realistisk.

beslut", säger han. "Men jag stod helt enkelt inte ut."

Som nyamputerad testade Nigel både krokprotes och vanliga proteser, men den låga funktionen fick honom att känna sig mer handikappad. Men så kontaktades han av företaget RLS Steeper som hade hittat honom via den ortopedtekniker han gick hos.

RLS Steeper startades 1921 i kölvattnet av första världskriget och producerade proteser och medicinsk utrustning. Nu höll de på att utveckla en proteshand de kallade *BeBionic* och ville att Nigel skulle testa den.

"Jag vill inte dölja min protes med en hudfärgad silikonhandske och går gärna i t-shirt. Men någon cyborg känner jag mig inte som. För jag är vad jag är, en enarmad man med en smart proteshand."

BeBionic har betydligt fler funktioner är vanliga handproteser. Rörelserna styrs med hjälp av elektroder som är placerade inne i hylsan och som plockar upp signaler från musklerna i underarmen. Tekniken kallas *myoelektronik*. Genom att spänna de kvarvarande musklerna på olika sätt framkallar Nigel Ackland någon av de många olika rörelser som handen kan göra. Utanpå protesen finns ytterligare knappar för olika inställningar som Nigel sköter manuellt med den andra handen.

Den första handen kom 2010 och numera finns den i flera olika storlekar. Colette Shaw från RSL Steeper säger att företaget strävar efter att bäraren ska uppleva protesen som en del av sig själv, och därför anpassas varje hand utifrån bärarens önskemål om utseende.

"Med eller utan kosmetisk gummihandske, till exempel. Och på en av våra kunders protes fick vi plocka bort ringfingret för att kunna montera dit hans vigselring", berättar hon.

Nigel håller upp sin bioniska hand och koncentrerar sig. Motorn börjar snurra, och så vrider sig handleden ett helt varv, i 360 grader.

"Det där klarar i alla fall ingen biologisk hand av", säger han och ler.

Att göra den snurrande rörelsen kräver både träning och koncentration. Ibland blir det problem att styra handen, den gör inte riktigt som Nigel vill. Då måste den servas eller kalibreras.

Colette sitter bredvid Nigel med en dator och kalibrerar handen, får den att röra sig på olika sätt.

Känns det inte otäckt när någon annan kontrollerar Nigels hand? Nej, det tycker han inte.

"Jag är otroligt stolt över min robothand. Det får mig att känna mig mer som en människa, den får mig att gå rakryggad och möta andra med blicken."

Han berättar att när han exempelvis sträcker på sig och gäspar så rör sig hans biologiska hand och robothanden likadant. Handen känns som en del av hans kropp, han använder den under dygnets alla vakna timmar.

"Jag vill inte dölja min protes med en hudfärgad silikonhandske och går gärna i t-shirt. Men någon cyborg känner jag mig inte som. För jag är vad jag är, en enarmad man med en smart proteshand."

LOW TECH, HIGH TECH OCH 3D-SKRIVARE

Länge såg proteserna likadana ut. Några tidiga innovationer gjordes i början på 1800-talet. Träbenet The Clapper hade utformats för att efterlikna själva rörelserna hos ett riktigt ben, med gångjärn och leder vid knä och ankel. Typen blev vida spridd och producerades ända fram till första världskriget, namnet fick den efter det klappande ljud som protesen gav ifrån sig när användaren gick.

De båda världskrigen drev på utvecklingen något. Förbättrade leder, nya material och bättre avgjutningstekniker gjorde att både arm- och benproteser kom att bli lättare och bättre avpassade för varje individ.

Den första myoelektriska handprotesen uppfanns redan i slutet på 1940-talet. Men det var inte förrän flera decennier senare som tekniken blev standard. Sedan några år testas tekniken även på ben.

På 1980-talet började man tillverka fötter i kolfiber, och med hjälp av en teknik som kallas tredimensionell, datoriserad gånganalys förbättrades prestandan på benproteser.

Och så uppfanns det bioniska benet med mikroprocessorer och aktiv knäled. Intelligenta proteser som ska bete sig som mänskliga kroppsdelar. Den som är amputerad kan numera löpträna, klättra i berg och till och med tävla med personer med två biologiska ben på lika villkor.

I de rika delarna av världen får människor med funktionsnedsättningar ofta hjälp genom teknik som den här. Men många gånger är behoven av proteser som störst i de delar av världen där det saknas resurser. Landminor, bombattentat och jordskalv med många skadade skapar oändliga behov.

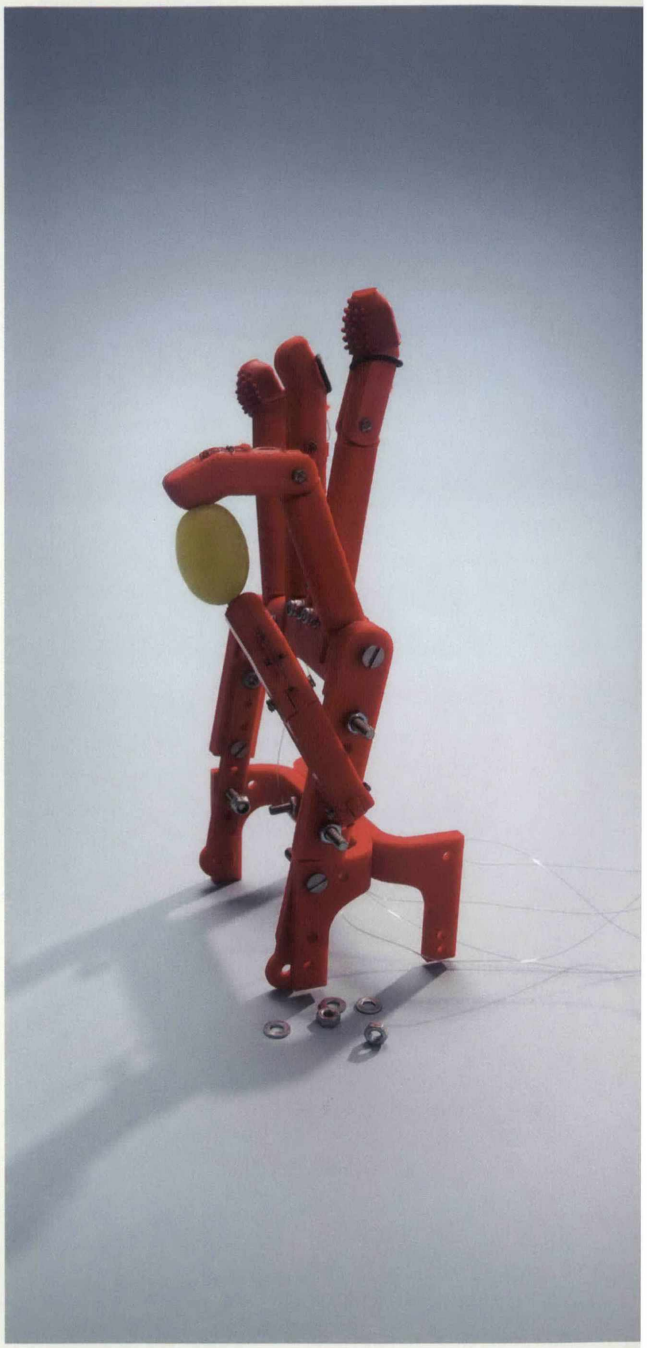
EN ROSA PLASTHAND

Det var i Sydafrika som den geniala idén uppstod första gången. Richard van As arbetade som snickare när han i maj 2011 råkade ut för en olycka och förlorade alla fingrar på högerhanden. En katastrof som skulle göra honom arbetslös. Proteser var dyra och dessutom saknades bra alternativ för att ersätta just fingrar. Men så snart han fick lämna sjukhuset började Rickard van As att rita på en konstruktion till en mekanisk handprotes. För att få idéer till själva designen kontaktade han amerikanen Ivan Owen. Han arbetade med specialeffekter och rekvisita och hade stor erfarenhet av att konstruera rörliga händer, men för monster och dockor.

Att tillverka delar till den mekaniska handprotesen var ganska tidskrävande, men 2013 dök en viktig pusselbit upp. Företaget Makerbot som tillverkar och säljer 3d-skrivare hörde talas om projektet och såg en möjlighet att hjälpa till. För genom att skriva ut de olika delarna till den mekaniska protesen i en 3d-skrivare blev processen betydligt snabbare.

Nu såg alla inblandade potentialen. Här kunde man med enkla medel och för en billig penning skapa proteser till människor som inte har råd eller möjlighet att gå via de stora etablerade protestillverkarna.

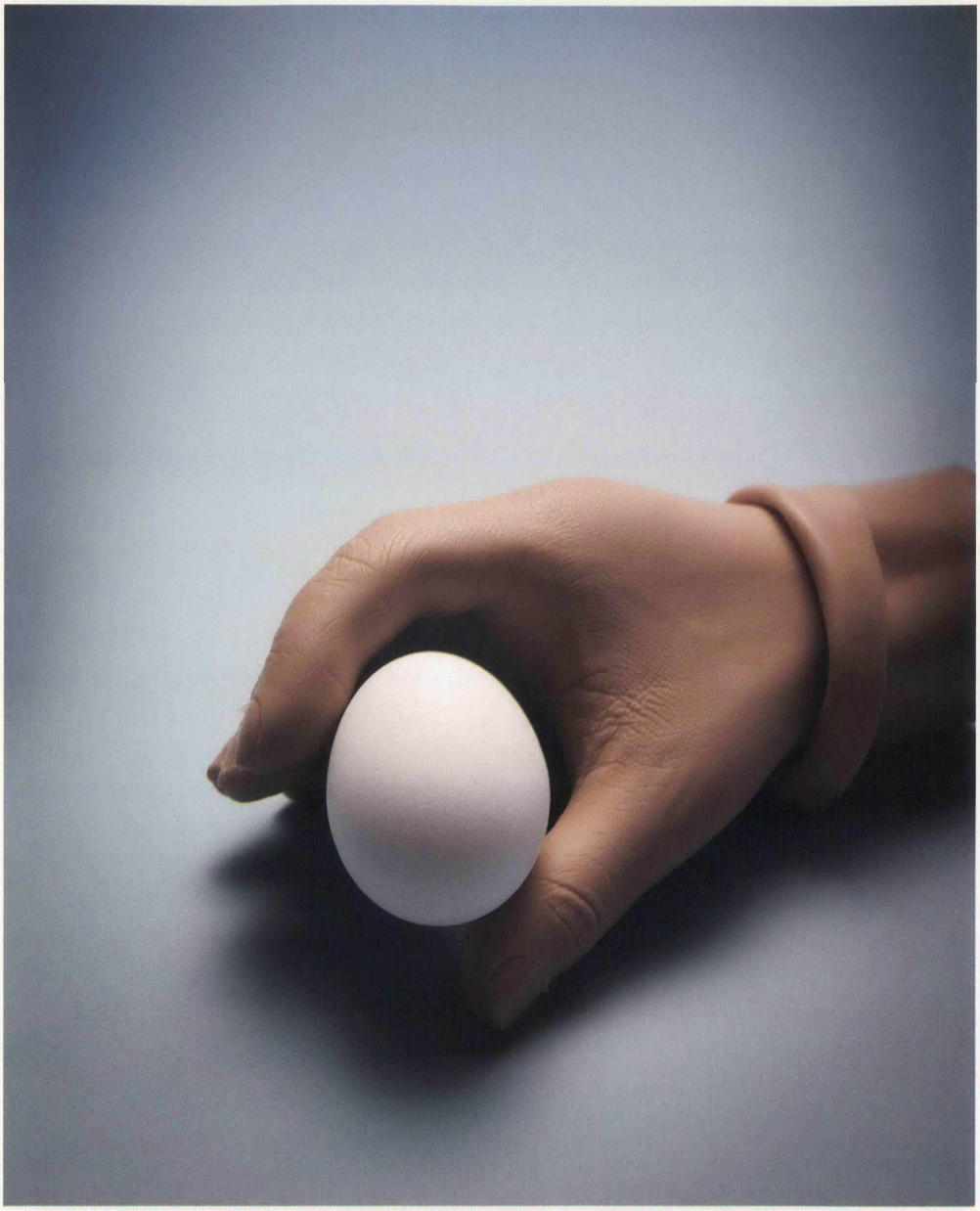
Robohand, som projektet döptes till, började snart växa till en DIY – *do it yourself culture*. En sorts subkultur, en folkrörelse eller gräsrotsorganisation med idealistiska förtecken. Ritningar och instruktioner för hur proteshanden ska monteras, individanpassas och skalas i storlek för att passa både barn och vuxna läggs ut på nätet för vem som helst att ladda ner. Personer eller företag som har tillgång till 3d-skrivare ställer upp gratis och skriver ut delarna till dem som behöver hjälp.



ROBOHAND

På Centrum för autonoma system vid KTH i Stockholm där man forskar på robotik hörde man talas om den mekaniska proteshanden Robohand och ville bidra med sina kunskaper, konstruktion och rörelse. Nu har flera forskare bidragit till förbättringar av den ursprungliga Robohand. Det senaste är en sorts växelspak som gör det möjligt för handen att greppa både grövre föremål som ledstänger och bollar, och att utföra det så kallade pincettgreppet och plocka upp och hålla i mycket små objekt.





Till vänster: Protesfot i kolfiber utvecklad av Ottobock. Foten används både vid vanlig löpträning och av elitidrottare, bland annat i Paralympics. Kolfiberfjäderkonturen ger hög drivkraft och lågt motstånd. Ovan: Myoelektrisk proteshand med greppsensorteknik.

TITANSKRUV I SKELETTET

Men vilken är den väsentliga skillnaden mellan en enkel men funktionell protes producerad i en 3d-skrivare och en bionisk kroppsdel? Kanske går gränsdragningen vid *osseointegration*? Så kallas den teknik som används för att få kroppen och protesen att växa ihop.

Ända sedan 60-talet har läkare och forskare experimenterat för att hitta metoder att fästa proteser direkt i skelettet. Att slippa sticka ner stumpen – av en arm, eller kanske framförallt ett ben – i en hård hylsa som orsakar smärta och skavsår skulle höja livskvaliteten för många amputerade. Bland annat gjordes försök på amerikanska soldater som skadats i Vietnamkriget med skelettförankrade skruvar. Men material som silikon och kolfiber ville inte växa fast i skelettet, och där skruven penetrerade huden uppstod ständiga infektioner.

Det finns dock ett material vars egenskaper är helt unika. På 1950-talet upptäckte den svenske läkaren Per-Ingvar Brånemark att metallen titan kunde integreras med skelett. Benvävnaden växter helt enkelt fast i titanet istället för att stöta bort det. I munhålan kan en titanskruv växa ihop med käkbenet och bilda en plattform för tandimplantat. Tekniken används idag över hela världen.

I slutet på 1980-talet började Per-Ingvar och sonen Rickard, som utbildat sig till både ortopedläkare och ingenjör, att fundera på om tekniken för tandimplantat också fungerade på andra ställen i kroppen.

Att få titanet att växa fast i ett lårben var ingen svårighet, men ingen hade löst problematiken med att ha en skruv som sticker ut genom huden.

Lösningen tycktes vara plastikkirurgi. Genom att strama upp skinn och muskulatur på stumpen kring den utskjutande skruven minimeras friktion och minskar infektionsrisken betydligt.

Under det sena 1990-talet experimenterade Rickard Brånemark för att utveckla tekniken med skelettförankrade proteser. Men trots framgångsrika forskningsresultat och solida data var det svårt att övertyga resten av forskarvärlden.

"År 2003 var jag och en av mina patienter, Erik Ax, i Washington på en forskningskonferens organiserad av Veteran Affairs och Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA", berättar Rickard Brånemark. "Jag höll en, som jag tyckte, fantastisk föreläsning och presenterade fina vetenskapliga data. Men ingen i publiken var särskilt intresserad. Så kom Erik Ax upp på scenen, drog ner byxorna och demonstrerade sin skelettförankrade benprotes. Plötsligt var alla fruktansvärt intresserade och imponerade. Man måste se det för att förstå att det kan vara sant."

Lastbilschauffören Magnus Niska från Haparanda blev år 2013 först i världen att bära en protes direkt kopplad till nervsystemet.







Tilll vänster: Myoelektriska proteshänder med innerhand och kosmetisk handske.
Ovan: Myoelektriska proteshänder utan kosmetisk innerhand.

TANKEN STYR PROTESEN

Myoelektriskt kontrollerade proteser har funnits länge. Bäraren styr protesen, oftast en arm eller en hand, via sensorer genom att spänna musklerna på olika sätt. Men tekniken skapar vissa begränsningar, exempelvis kan en ofrivillig muskelrörelse få protesen att bete sig lite hur som helst.

Koppla protesen direkt till nervsystemet? Tanken var inte ny bland dem som sysslade med protesutveckling, men ingen hade lyckats lösa det rent tekniskt.

Och så dök Max Ortiz Catalan upp hos Rickard Brånemark. Han var elektronikingenjör vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg och ville forska på proteser.

Max Ortiz Catalan visade sig vara mycket kreativ och samarbetet blev fruktbart. Han utvecklade en teknik för hur sensorerna skulle plocka upp nervsignalerna och omvandla dem till naturliga rörelser i en robotproteshand. Tekniken skapades redan från början för att kunna användas kliniskt, och det första lyckade försöket gjordes på Rickards patient Magnus Niska som förlorat sin arm några år tidigare.

År 2013 var första gången någon lyckades koppla ihop hjärnans signaler med en protes och få det hela att fungera. Magnus Niska styr sin protes med vilja på ungefär samma sätt som han kontrollerar sin biologiska arm och hand och sköter utan problem sitt arbete som lastbilschaufför.

Målet för protesutveckling är många gånger att de artificiella kroppsdelarna i så stor utsträckning som möjligt ska bli en del av användarens kropp, att de ska bli så bra att bäraren uppfattar dem som en del av sig själv.

Men samtidigt håller inställningen till artificiella kroppsdelar också på att förändras. Ju högre nivå av funktionalitet som uppnås, desto mer intresserade tycks både användare och producenter bli av att framhäva teknikens egenart. Att visa hur proteser tydligt skiljer sig från biologiska kroppsdelar genom att accentuera deras tekniska funktioner eller skapa en estetisk utformning som talar om att det rör som om en artificiell kroppsdel.

Fenomenet kom tydligt till uttryck redan 1998 i de sinnrikt utformade benproteser som modellen Aimee Mullins bar på catwalken när hon öppnade kläddesigner Alexander McQueens Londonvisning. Aimee Mullins föddes med missbildningar i underbenen och genomgick amputation av båda benen strax under knäleden när hon var ett år gammal.

Redan innan hon började arbeta som modell hade Aimee Mullins en karriär som friidrottare och var van att använda avancerade och specialgjorda proteser. Under Paralympics har vi sett många av de extremt funktionella underbensproteser som tillåter användare att komma upp i svindlande löparhastigheter. Här blir funktionsoptimeringen en del av protesens estetik.

Den före detta elitidrottaren Aimee Mullins är idag fotomodell. Hennes proteser är ofta en lek med form, material och utförande, och hon låter dem bli en del av hennes identitet som modell.


BiOM

ARTIFICIELL KÄNSEL OCH ODLADE BEN

Att förankra en protes i skelett och nervsystem löser två stora problem som många protesanvändare dras med. Skelettförankringen gör att användaren inte begränsas i rörlighet på samma sätt som med hylsproteser. Och när protesen är kopplad direkt till nervsystemet och styrs intuitivt på samma sätt som en biologisk arm så blir finmotoriken nästan skrämmande bra. Men integrationen mellan människa och maskin är inte fullständig, än saknas en viktig faktor för full funktion.

"Vi kan åtminstone inte utesluta att vi i framtiden kommer att kunna skapa biologiska proteser, exempelvis genom att kombinera odlat skelett och odlade muskler med någon form av artificiella nerver."

Nyckeln är känsel. Med en permanent koppling mellan protesen och nervsystemet möjliggörs också så kallad *sensorisk återkoppling*. Sensorer registrerar tryck i proteshanden och skickar tillbaka signaler till hjärnan som berättar för den att handen rör vid någonting. Rickard Brånemark och hans medarbetare testar just nu möjligheten för fullt på en av sina patienter.

"Hjärnan är oerhört bra på att lära om. Den lär sig tolka de signaler som skickas tillbaka från sensorerna och kombinerar dem med informationen från andra intryck, exempelvis synen. Just nu använder vi trycksensorer som ger en sorts känsel och som förmodligen också gör att användaren kan känna hur mycket fingrarna böjer sig. Men trycksensorer kommer nog att kunna kombineras med andra sensorer i framtiden, exempelvis för att känna strukturer."

Än finns det ingen protes som överträffar den biologiska kroppen i sin mångfald av rörelser, ingen konstgjord hand som både kan spela fiol och skriva kalligrafi. Men framtidens proteser kommer att klara det mesta, menar Rickard Brånemark. Troligtvis kommer vi att se proteshänder och artificiella ben med många fler funktioner. Kanske kommer vi att kunna ha små kameror i fingertopparna som läser av färg eller UV-ljus eller sensorer som uppfattar vibrationer vi inte annars skulle känna. Helt plötsligt har kroppen fått fler sinnen än den föddes med.

"Men här kommer också hela den skrämmande biten in. För vem blir man då? Ett freak eller en supermänniska? Och kommer tekniken att användas i fel syften?" frågar sig Rickard Brånemark.

En annan möjlighet för framtidens proteser är att de är helt eller delvis biologiska, gjorda av patientens egna celler. Tekniken att ta fram biologiska material i laboratorier är under utveckling. Brosk skrivs ut i 3d-skrivare och blodkärl odlas av patientens egna stamceller för transplantation.

"Vi kan åtminstone inte utesluta att vi i framtiden kommer att kunna skapa biologiska

proteser, exempelvis genom att kombinera odlat skelett och odlade muskler med någon form av artificiella nerver."

Forskning bjuder ofta på överraskningar och oväntade resultat. Över hela världen arbetar man för att hitta sätt att skapa proteser som svarar mot användarnas behov och önskemål genom att kombinera ny teknik och ny kunskap på bästa sätt. Många olika strategier behövs. Är framtidens proteser biologiska replikor av våra egna kroppar eller högteknologiska konstruktioner som gör oss till supermänniskor? Vi får se.

ATT ODLA ORGAN

May Griffith är professor i regenerativ medicin vid Univerisitetssjukhuset i Linköping och forskar på biomaterial och stamcellsbaserade terapier.

Bland annat har hon tagit fram en metod för att odla fungerande mänskliga hornhinnor i laboratorium som kan användas inom forskningen.

Hon har även utvecklat en metod för att få kroppen att på egen hand återställa en skadad hornhinna. I laboratoriet odlas det "proteinskelett" som omger cellerna i ögats hornhinna. När skelettet opereras in på en patient vars hornhinna är skadad, bildar ögat på egen hand nya hornhinneceller och nerver så att en ny hornhinna bildas och synen återställs.

Tillsammans med Katarina Le Blanc, professor i klinisk stamcellsforskning, och Karl-Henrik Grinnemo, senior forskare och specialist i hjärtkirurgi på Karolinska institutet, undersöker May Griffith även möjligheten att använda en liknande princip för att återställa den skadade vävnaden hos ett hjärta efter en hjärtattack. Genom att förse den skadade delen av hjärtat med ett nytt "proteinskelett" kan hjärtat reparera den skadade vävnaden.

Möjligheten att odla organ eller delar av organ är på försöksstadiet. Idag är det möjligt att skapa ett hjälpligt fungerande hjärta eller en njure i laboratoriemiljö och transplantera det till råtta eller gris.

Men att översätta tekniken till människor låter sig inte göras än.

"Problemet är att de människor som idag är i behov av exempelvis ett nytt hjärta är mycket sjuka, inte som försöksdjuren – unga och starka individer. Och här ligger en av våra stora utmaningar, hur vi ska överföra tekniken från en kontrollerad labbmiljö till att bli en del av den kliniska praktiken", säger May Griffith.