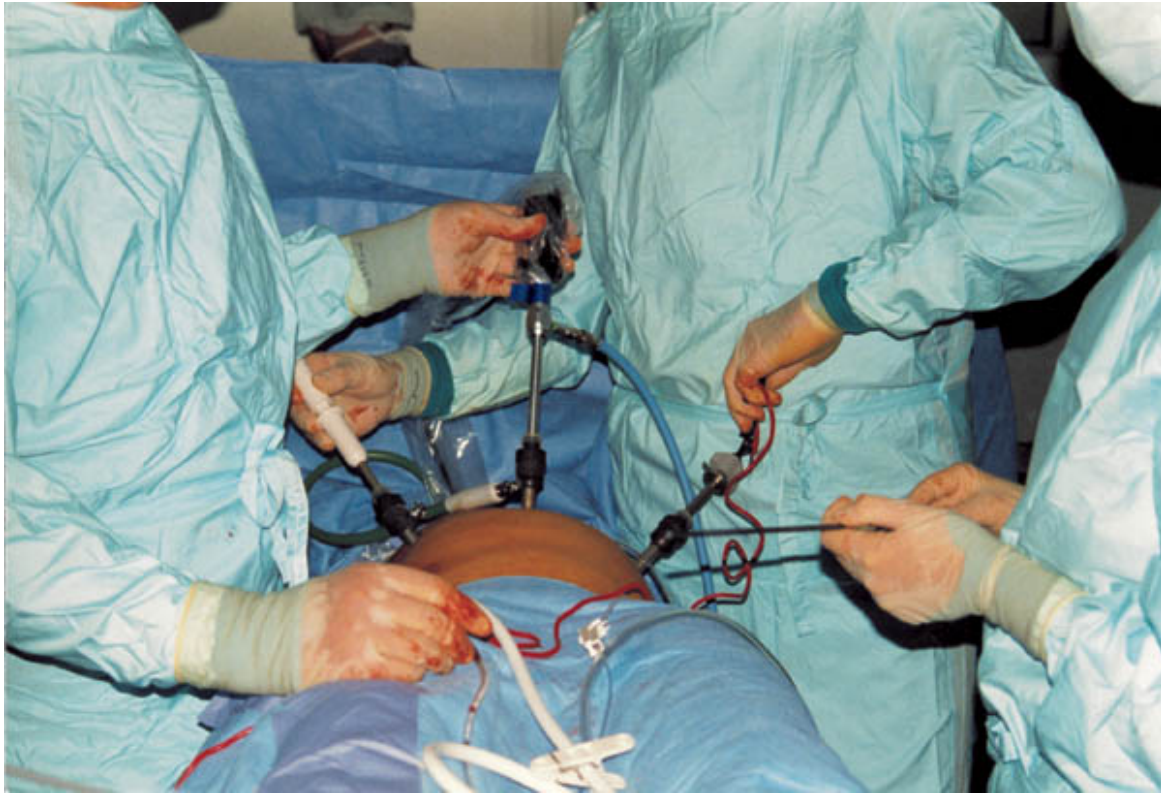


Endo-Periscoop biedt chirurg meer diepte

Chirurg kijkt om een hoekje

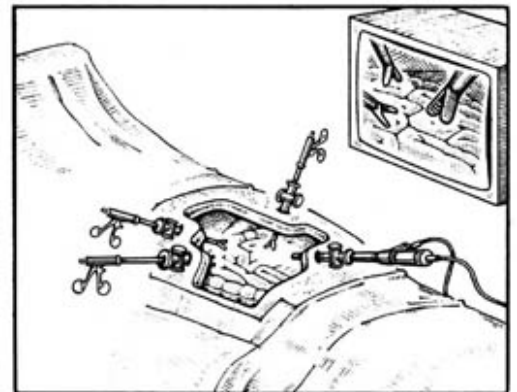


DOOR JOOST VAN KASTEREN

Veel chirurgen hebben moeite met laparoscopie, opereren in de buikholte zonder dat deze is opengelegd. Bij deze sleutelgat-operaties doen zich problemen voor bij het zien van diepte en bij de coördinatie van oog en hand. Gevolg is dat tot op heden alleen relatief eenvoudige operaties op deze wijze worden uitgevoerd. Een nieuwe type endoscoop, de in Delft en

Laparoscopische operatie voor verwijdering van de galblaas. De buik is opgeblazen met co2 om meer werkruimte te creëren. In de buik zijn vijf cannula's gestoken (buisen met een klepje erin). Met de endoscoop (links) kijkt de chirurg naar binnen. De andere vier cannula's zijn voor de operatie-instrumenten.

(Foto: Joris Jaspers / AMC Amsterdam)



Afbeelding van een opengewerkte buik met drie laparoscopische instrumenten en rechts een endoscoop. De chirurg opereert op basis van het camerabeeld van de endoscoop dat hij op monitor ziet.

Tokio ontwikkelde Endo-Periscoop, komt op ingenieuze wijze aan genoemde bezwaren tegemoet. Aan de basis ervan ligt een nieuw werkingsprincipe, gebaseerd op een ruimtelijk parallellogram, waarop wereldwijd octrooi is aangevraagd. Ook op de materiële vertaling van het werkingsprincipe, een nieuw type veer, is patent aangevraagd.

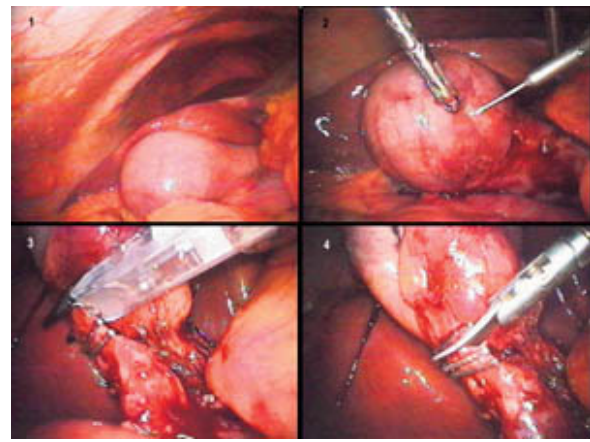
De kamer van dr. ir. Paul Breedveld, postdoc-onderzoeker bij de sectie Mens-Machine Systemen, bevindt zich in het inmiddels verbouwde deel van Werktuigbouwkunde. Aan de wand een paar reproducties van Escher, waarin, zoals gebruikelijk bij deze graficus, het perspectief met de toeschouwer op de loop gaat. Op een plank in de boekenkast ligt een uitvindsel van hout en aluminium, waarvan de functie niet meteen duidelijk is. Ernaast een vergelijkbare constructie, maar dan kleiner en gemaakt van de kunststof onderdelen van Technisch Lego. Later in het gesprek pakt Breedveld beide constructies om het werkingsprincipe van de door hem ontwikkelde endoscoop, Endo-Periscoop gedoopt, te demonstreren.

'Als rechtgeaard werktuigbouwer probeer je je ideeën natuurlijk eerst uit in Lego', zegt hij met een lach. 'Daarna probeer je het in hout en aluminium en pas als je weet dat het werkt, ga je het verfijnen en verkleinen. Althans, zo is het bij de Endo-Periscoop gegaan.'

Diepteperceptie

De groep waarbij Breedveld werkt, is actief in het onderzoeksprogramma misit, een acroniem voor Minimally Invasive Surgery and Interventional Techniques. Het programma wordt uitgevoerd samen met het Amsterdam Medisch Centrum (AMC) en diverse andere ziekenhuizen. Leidraad voor het onderzoek is de klinische behoefte. Breedveld: 'Uitgangspunt is het werk van de chirurg. We proberen die hulpmiddelen te ontwikkelen die hem of haar ondersteunen. De bruikbaarheid staat voorop en niet hoe geavanceerd het instrument is.'

Eén van de projecten van misit is het verbeteren van de diepteperceptie en oog-handcoördinatie bij minimaal invasieve chirurgie, in dit geval laparoscopie (operaties in de buik). Bij een laparoscopische operatie wordt de buik niet opgelegd, maar gebeurt de hele operatie in de dichte



De endoscoop is via de navel naar binnen gestoken.
 1. Nadat de endoscoop via de navel naar binnen is gestoken, is de door galstenen ontstoken en opgezwollen galblaas zichtbaar. De «tong» erop is de lever en daarboven de buikband. De kijkrichting is van de buik naar de longen.
 2. Doordat de belichting van dicht bij de endoscoopplens komt, zijn er nauwelijks schaduwen aanwezig, waardoor het moeilijk is om de afstand tussen de instrumenten en de galblaas te schatten.
 3. De galbuis wordt afgeknepen met een speciaal soort nietjes.
 4. De afgeknepen galbuis wordt met een schaartje doorgeknipt.
 (Foto: Dr. Alex Gandsas / www.caparoscopy.com)



Bestaande endoscopen.
 (Foto: Karl Storz BV, Vianen)



Diepte zien

Mensen kunnen op verschillende manieren diepte zien. De meest bekende is stereovisie, het verschil in beeld tussen linker- en rechteroog als gevolg van de afstand tussen beide ogen. Bij waarnemingsafstanden groter dan een meter of negen lijkt stereovisie geen rol meer te spelen, omdat dan het verschil tussen beide beelden kleiner is dan de resolutie van het oog. Stereovisie is een vorm van dieptewaarneming door parallax, dat wil zeggen de verandering in de onderlinge positie van waargenomen objecten doordat het oog van plaats verandert. Een ander soort parallax is bewegingsparallax, waarbij het beeld op het netvlies verandert doordat de waarnemer zijn hoofd beweegt (actief) of doordat de camera beweegt (passief). Parallax is lang niet de enige

buikholte. Het voordeel is dat de wonden veel kleiner zijn, waardoor het herstel voorspoediger is en de kans op infecties in principe kleiner. Nadeel is dat de chirurg op een indirecte manier moet kijken en werken, waardoor de oog-handcoördinatie onnatuurlijk verloopt. Een ander nadeel is de gebrekkige waarneming van diepte.

Cannula

Een laparoscopische operatie begint met het inbrengen van een naald waardoor co2 in de buikholte wordt geblazen. Dat drukt de buikwand omhoog en de ingewanden omlaag, zodat een werkruimte ontstaat van 7 tot 15 centimeter hoogte. Vervolgens wordt er een aantal kleine sneetje in de buikwand gemaakt waardoor cannula's met trocars (staven met een heel scherpe punt) worden gestoken. Daarna worden de trocars weer teruggetrokken en blijven de cannula's over. Een cannula is een holle buis met een klepje om de buikholte gasdicht af te sluiten. Door die buis worden de instrumenten gestoken, zoals een tangetje, een schaartje of een hechtinstrument.

Breedveld: 'Eén van de cannula's wordt gebruikt voor de endoscoop, een combinatie van lichtbron en camera die de chirurg beperkt zicht biedt op het inwendige van zijn patiënt. Beperkt, omdat hij enerzijds niet goed diepte kan waarnemen, anderzijds omdat het aantal vrijheidsgraden van de endoscoop beperkt is, omdat je door een strak gespannen buikwand heengaat met je endoscoop. Daardoor kan de chirurg organen maar zeer beperkt van meerdere kanten bekijken en wordt de oog-handcoördinatie verstoord.' Dat maakt het er niet eenvoudiger op. Breedveld noemt als voorbeeld een operatie waarbij de galblaas wordt verwijderd. In principe een relatief eenvoudige ingreep. Laparoscopisch echter is het een stuk lastiger, omdat je niet altijd precies kunt zien hoe de verbindingen tussen lever, darm en galblaas lopen.

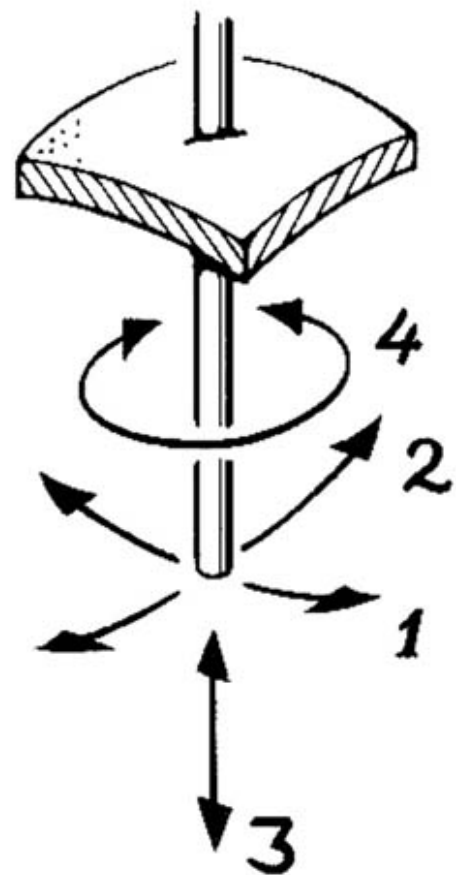
'De kans bestaat dat je niet de afvoerbuis van de galblaas afklemt', legt Breedveld uit, 'maar de verbinding tussen lever en darm. Dat kan leiden tot vervelende complicaties, ja zelfs tot beschadiging van de lever. Om die reden worden tot op heden alleen relatief eenvoudige operaties laparoscopisch uitgevoerd. Zo gauw het ingewikkeld wordt, gaat de buikwand open.'

Overigens wordt ook het verwijderen van de galblaas tegenwoordig bijna altijd laparoscopisch gedaan. De chirurg ondervangt het risico van het afklemmen van de verkeerde verbinding door meermalen te controleren of hij de goede heeft.

Half maantje

Om het werk van de chirurg te vergemakkelijken en ook om complexere operaties laparoscopisch uit te kunnen voeren, zou het prettig zijn als de dieptewaarneming verbeterd. De meeste endoscopen bestaan uit een reeks lenzen, gescheiden door dunne spleten lucht. Aan de buitenzijde van het lichaam bevindt zich een camera. Een alternatief is een kleine ccd-camera die in de buikholte wordt gebracht. Het camerabeeld wordt vertoond op een monitor. Het licht is afkomstig van een sterke bron en wordt via glasvezels in de endoscoop de buikholte in geleid. De glasvezels liggen rondom de lensreeks en verlichten het operatiegebied. Het beeld dat op de monitor verschijnt ziet er plat uit door het nagenoeg ontbreken van schaduwen. Tegenwoordig is de ring van licht rondom de lens vaak gevormd als een half maantje, zegt Breedveld. De schaduw die daardoor ontstaat geeft iets van dieptewerking, maar niet erg veel.

mogelijkheid om diepte te zien. Dat blijkt wel wanneer we een oog dicht doen en ons hoofd stilhouden. We zien dan nog steeds diepte, vooral dankzij picturale informatie, zoals objecten die elkaar overlappen of van grootte veranderen door het perspectief. Ook schaduwen zijn vormen van picturale 'cues', bijvoorbeeld om te zien waar een object een oppervlak raakt. De graficus Escher was een meester in het spelen met picturale cues met alle gevolgen van dien voor de dieptewaarneming van de toeschouwer. Een laatste vorm van dieptewaarneming vloeit voort uit de visueel-motorieke informatie die naar onze hersenen wordt gestuurd. Dat is informatie over de bolling van het oog (hoe dichter bij een object, hoe groter de bolling) en over de convergentie van de ogen (mate van scheel kijken). Accommodatie en convergentie zijn echter vooral van belang voor scherp zien; voor dieptewaarneming lijkt de betekenis beperkt.



De huidige endoscopen worden door het sneetje in de buikwand in hun beweging beperkt tot 4 graden van vrijheid.

Veel fabrikanten richten zich op de ontwikkeling van een stereo-endoscoop om diepte aan te brengen in de beelden van de buikholte. Bijvoorbeeld door de endoscoop uit te rusten met een dubbele lens of door uit te gaan van een enkele lens met prisma om de twee stereobeelden van elkaar te scheiden.

Breedveld: 'De stereo-endoscoop is gebaseerd op het verschijnsel dat we diepte zien door stereovisie. Als gevolg van de afstand tussen beide ogen, krijgen we een verschillend beeld op het netvlies van het linker- respectievelijk het rechteroog. In de visuele cortex worden die beelden versmolten tot een beeld met dieptewerking.'

Een aantal bedrijven heeft inmiddels endoscopen op de markt gebracht met een dubbele lens. Anderen zoeken het in een endoscoop met enkele lens en prisma. In beide gevallen is het resultaat twee beelden, die een beetje ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Via een speciale bril moet het «platte» schermbeeld dan weer diepte krijgen voor de chirurg.

Breedveld ziet daar weinig heil in. 'Uit de literatuur blijkt dat de meerwaarde van stereo-endoscopie beperkt is, omdat de twee beelden zo dicht bij elkaar liggen dat er nauwelijks stereo informatie is uit te halen', zegt hij. 'Daarom zijn we op zoek gegaan naar methoden die uitgaan van andere vormen van dieptewaarneming, met name schaduwwerking en bewegingsparallax.'

Bewegingsparallax ontstaat door beweging van het hoofd of, in dit geval, door het bewegen van de camera waarmee het object wordt bekeken.

Eind jaren tachtig toonden de psycholoog dr. C.J. Overbeek van de faculteit Industrieel Ontwerpen en zijn toenmalige collega de ontwerper dr. M.H. Stratman (thans dekaan van de afdeling Design fhp in Potsdam) met een geotrooieerd systeem aan dat het inderdaad mogelijk is om met een monoclair beeld van één camera een 3-D beeld te laten ontstaan, door de camerabewegingen te laten sturen door de hoofdbewegingen van de kijker.

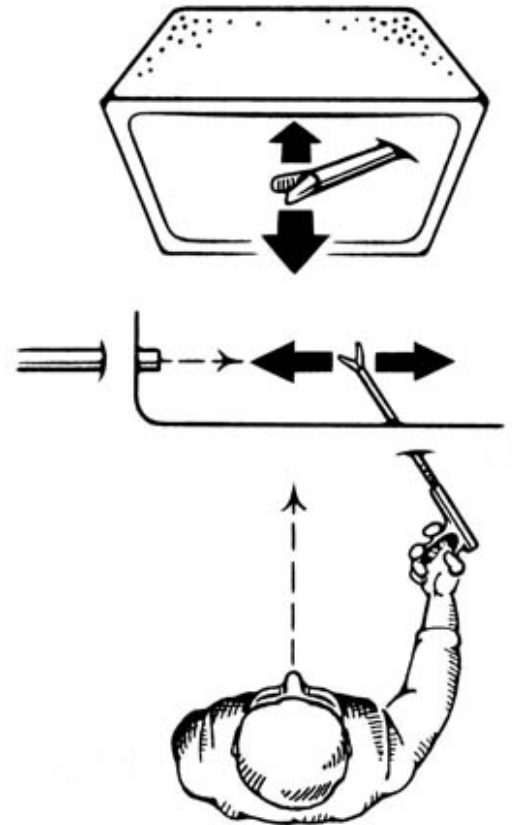
[Zie kader links en Delft Integraal 89.5, p.12 e.v.]

Cursor

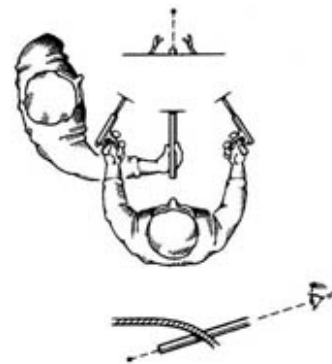
Breedvelds zoektocht naar schaduwwerking en bewegingsparallax werd mede ingegeven door een ander probleem dat zich voordoet bij laparoscopische chirurgie en dat is de misoriëntatie als gevolg van de verstoorde oog-handcoördinatie.

Breedveld: 'Als klein kind leer je – onbewust – hoe je ruimtelijke informatie die via het oog binnenkomt moet omzetten in stuursignalen voor hand en arm. Dat gebeurt op basis van een interne representatie die we ons door ervaring en training eigen hebben gemaakt. Bij laparoscopie neem je het instrument waarmee je manipuleert indirect waar. Daardoor ontstaan verschillen tussen de verwachte beweging en de waargenomen beweging en dat leidt tot een misoriëntatie, die zich lastig mentaal laat corrigeren. Je zou het bij gebruik van een computer kunnen vergelijken met een muis die een kwartslag is gedraaid. Dan weet je ook niet meer welke richting je cursor op gaat.'

Om misoriëntaties te vermijden, zou het het beste zijn als de endoscoop de natuurlijke kijkrichting van de chirurg zou volgen. Nadeel daarvan is dat de assistent die de endoscoop bedient met zijn arm in het werkgebied van de chirurg komt. Althans bij gebruik van een zogeheten 0-graden endoscoop, waarvan de kijkrichting in de lengte van de buis ligt.



Stand van de endoscoop waarbij een misoriëntatie van 90 graden optreedt tussen de hand van de chirurg en de beweging op de monitor.



Met een standaard 0-graden endoscoop kan de misoriëntatie worden opgeheven, maar dan zit de camera-assistent de chirurg wel danig in de weg.

Breedveld: 'Dat bracht ons op het idee van de 90-graden endoscoop, waarbij de kijkrichting van de lens loodrecht op de buisrichting staat. Dergelijke endoscopen worden in de industrie wel gebruikt, maar merkwaardig genoeg, niet in de laparoscopische chirurgie. We hebben er althans geen kunnen vinden.'

De 90-graden endoscoop biedt nog een ander voordeel ten opzichte van de gebruikelijke 0-graden endoscoop. Door hem zijwaarts te bewegen en tegelijkertijd iets te laten roteren, kun je een object van verschillende kanten bekijken.

'Dat geeft wel een kanteling van het camerabeeld,' aldus Breedveld, 'maar het is beter voor de dieptewaarneming dan bij de gewone endoscoop. Een nadeel is echter dat je met de 90-graden endoscoop niet goed kunt zien waar je blijft, wanneer je hem door de cannula steekt. Dat kan schade aan organen en weefsels opleveren.

Breedveld: 'We zochten dus eigenlijk naar een endoscoop die je bij het insteken rechtdoor kunt laten kijken en voor bewegingsparallax om een hoekje kunt laten kijken.

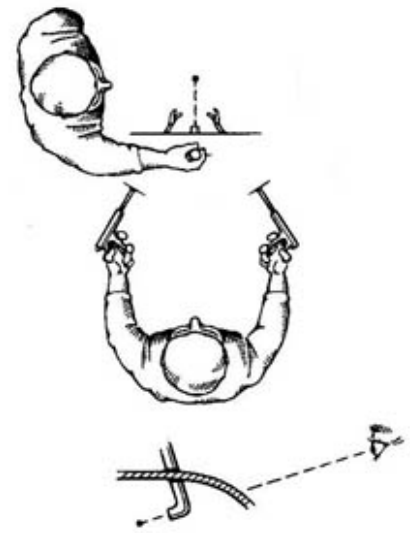
Bijvoorbeeld een endoscoop met beweegbaar uiteinde. Die zijn er wel en ze worden gebruikt voor maagdarmonderzoek, waarbij ze via de slokdarm of de endeldarm worden ingebracht. Voor laparoscopische chirurgie zijn deze endoscopen echter niet geschikt, omdat ze een grote kromtestraal hebben en daardoor nogal wat ruimte innemen. Bovendien zijn ze niet precies genoeg te besturen.'

Stripfiguren

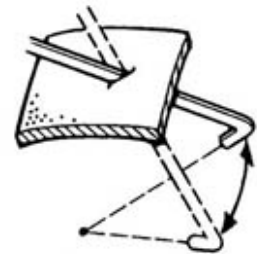
Na enig denkwerk kwam Breedveld op het idee om gebruik te maken van een ruimtelijk parallellogram-mechanisme voor het besturen van de tip van de endoscoop. Die tip zou dan een minuscule camera moeten bevatten in plaats van een lens. Het principe heeft wel wat weg van de houten constructies, waarmee je als kind je favoriete stripfiguren kon overtekenen en vergroten. Je volgt de lijn van het figuurtje dat je over wilt tekenen en via een parallellogram wordt de beweging overgebracht naar de houder waarin een potlood of een pen is bevestigd. Waar je bij het overtekenen van een stripfiguur kunt volstaan met een parallellogram in twee dimensies is voor de beweegbare tip van de endoscoop een parallellogram in drie dimensies nodig. Daarbij volgt de beweegbare tip de bewegingen van het handvat van de endoscoop. Breedveld illustreerde het principe met zijn Lego-constructie en vervolgens in hout en aluminium, waarbij hij gebruik maakte van cardan-koppelingen voor het overbrengen van de beweging via het ruimtelijk parallellogram. Dat werkte allemaal keurig.

'Daarmee sloegen we twee vliegen in één klap', aldus Breedveld, 'namelijk de dieptewaarneming en de oog-handcoördinatie. De dieptewaarneming konden we nog versterken door de lichtbron hoger op de schacht van de endoscoop te plaatsen, waardoor je meer schaduw krijgt.' Hoewel interessant genoeg om een octrooi op aan te vragen, was het idee nog lang niet rijp voor de operatiekamer. De arallellogRAMConstructie was veel te groot voor gebruik via een buis met een doorsnede van 10 of 12 millimeter.

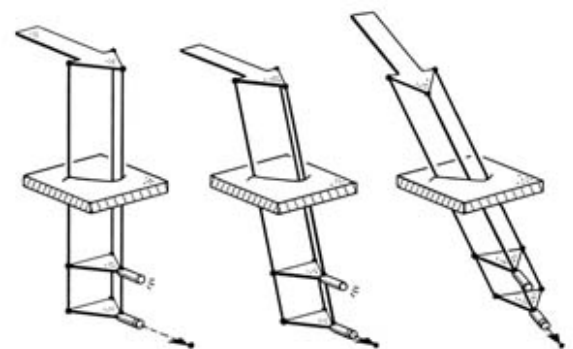
Breedveld: 'In die periode kreeg ik de gelegenheid om een half jaar te gaan werken in het Hirose & Yoneda laboratorium van het Tokyo Institute of Technology, zeg maar de Japanse tegenhanger van de TU Delft. Ik was daar eerder op excursie geweest en toen zeer onder de indruk geraakt van wat zij deden op het gebied van mechatronische constructies. Om daar wat van op te steken heb ik bij de Stichting Technische Wetenschappen (stw) een reisbeurs



Wanneer de misoriëntatie wordt opgeheven met een 90 graden-endoscoop, dan zit de camera-assistent de chirurg niet in de weg.



Een 90 graden-endoscoop kan worden gebruikt voor bewegingsparallax om organen van meerdere kanten te bekijken. Een nadeel is echter dat het beeld scheef komt te staan (een lichte vorm van misoriëntatie).



Het principe van de Endo-Periscoop is gebaseerd op een parallellogram. De camera (onderaan) en de lichtbron (midden) volgen exact alle bewegingen van de handgreep. Breedveld probeerde zijn ideeën eerst uit in Lego, daarna in hout en aluminium. Pas toen hij wist hoe alles werkte, ging hij zich toeleggen op het verfijnen en verkleinen.

aangevraagd en gekregen. Ik was van harte welkom, maar Professor Shigeo Hirose vond wel dat ik zelf ook iets moest ontwerpen en maken. Ik heb me daar toen geworpen op het miniaturiseren van mijn Endo-Periscoop.'

Slurf

Daarbij lieten Breedveld en Hirose zich inspireren door een in het Hirose & Yoneda laboratorium ontwikkelde flexibele robot, de Elastor. De robot, zo groot als een mensenarm, bestaat uit een aantal segmenten, die zijn opgebouwd uit een spiraalveer met een metalen schijf aan het eind. Elk segment wordt aangedreven door drie trekdraden en bij een juiste aansturing beweegt de robot zich als een slurf in alle willekeurige richtingen.

Breedveld: 'Die combinatie van spiraalveer en trekdraden leek een goede basis voor het ontwerpen van een flexibele tip. Het punt was alleen dat de kromtestraal vrij groot was, waardoor je dezelfde problemen krijgt als bij gebruik van een maag- of darmendoscoop. We hebben dat in eerste instantie opgelost door het aanbrengen van een scharnier; later is die vervangen door een trekdraad die altijd helemaal is aangetrokken.'

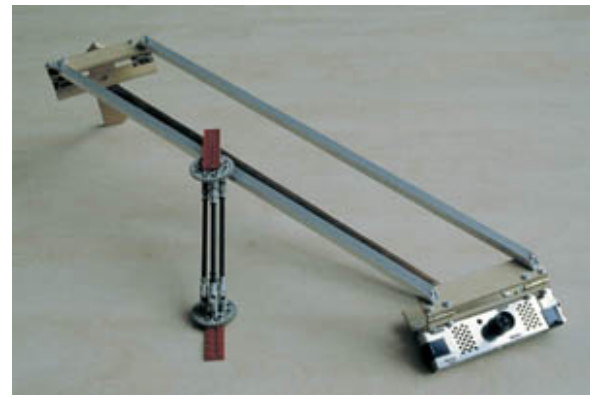
Een ander probleem bleek de spiraalveer te zijn. Voor een goede besturing moet de trekdraad aan de buitenzijde van de veer op z'n plaats blijven liggen. In eerste instantie vond Breedveld de oplossing in een spiraalveer met instulping, waarin de trekdraad kan bewegen zonder te verschuiven. 'Echter, toen we zo'n spiraalveer wilden laten maken, bleek zo'n richel over de lengte van de veer niet mogelijk. Om hem veerkracht te geven ondergaat een spiraalveer een warmtebehandeling. Door het uitzetten verschuift de instulping en komt de trekdraad uiteindelijk scheef over de veer te liggen.'

Vooraf de uitzetting uitrekenen en de plaats van de instulpingen daarop aanpassen, bleek geen praktisch uitvoerbare oplossing. Daarop ontstond het idee voor een ander type veer, bestaande uit ringvormige plaatjes van verenstaal die paarsgewijs aan elkaar zijn gepuntlast. In de plaatjes zijn gaatjes geboord voor de trekdraden. Het voordeel van deze veer is dat zijn buigstijfheid asymmetrisch is: bij verbuiging in het vlak van de gaatjes is hij slapper dan in het vlak loodrecht daarop. Verder is zijn torsiestijfheid bijzonder groot; de veer laat zich niet verdraaien. Op de veer is inmiddels ook octrooi aangevraagd.

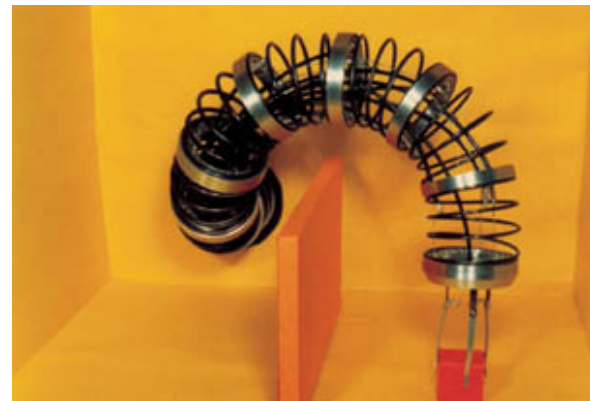
Verrassend eenvoudig

Om de op- en neergaande beweging en de zijwaartse verdraaiing van de tip te laten corresponderen met de beweging van het handvat, moest een constructie worden bedacht analoog aan het ruimtelijk parallellogram. Daartoe laten we, aldus Breedveld, de trekdraad die de veer bestuurt, afrollen langs een profiel in het handvat. Als de vorm van het profiel goed wordt gekozen, zullen de richting van het handvat en de tip van de endoscoop altijd met elkaar overeenstemmen. De vraag is echter hoe je het goede profiel kunt bepalen.

Breedveld: 'De oplossing bleek verrassend eenvoudig. Je kunt volstaan met een schijf met een diameter die gelijk is aan tweemaal de diameter van de schacht van de endoscoop. Dat bleek overigens pas uit onze berekeningen.' Uiteindelijk lag er na vier maanden in Japan een serie bouwtekeningen op basis waarvan het metaalbewerkingsbedrijf Onodenki de onderdelen in zes weken wist te maken. De onderdelen zijn door Breedveld zelf in elkaar gezet tot een werkend prototype van de



Breedveld probeerde zijn ideeën eerst uit in Lego, daarna in hout en aluminium. Pas toen hij wist hoe alles werkte, ging hij zich toeleggen op het verfijnen en verkleinen.



De Elastor-robot, inspiratie voor de Endo-Periscoop. (Foto: Prof.S.Hirose / Hirose & Yoneda Labs.)



De veer die Breedveld ontwikkelde voor de endoscooptip bestaat uit plaatjes verenstaal die aan elkaar zijn gepuntlast. De veer heeft een asymmetrische buigstijfheid en een bijzonder grote torsiestijfheid. De gaatjes zijn voor geleiding van de trekdraden.

endoscoop. Het resultaat overtrof de verwachtingen. De tip van de endoscoop waarin een miniatuur camera kan worden aangebracht, volgt nauwkeurig de bewegingen van het handvat. Dat handvat kan op zo'n manier worden bediend, dat bij een goede kijkrichting de camera-assistent de chirurg niet in de weg zit. De tip kan op- en neerwaarts worden verdraaid tussen 0 en 180 graden en zijwaarts tussen -60 en $+60$ graden. De kromtestraal is bovendien veel kleiner dan bij bestaande mechanismen.

Dankzij het snelle werk van het Japanse bedrijf kon Breedveld met zijn endoscoop in een speciaal gemaakt koffertje het vliegtuig in stappen. Opvallend genoeg hebben veiligheidsbeambten hem niet één keer gevraagd om zijn koffertje te openen, hoewel de contouren van de endoscoop toch al gauw de indruk geven van een vervaarlijk steekwapen. Eenmaal op Nederlandse bodem terug is Breedveld in gesprek geraakt met een aantal bedrijven. 'Er is veel belangstelling', aldus Breedveld, 'maar een partner hebben we nog niet gevonden.'

Wanneer dat gebeurt dan zal de chirurg binnenkort de beschikking hebben over een eenvoudig en doelmatig instrument dat een aantal belangrijke nadelen van laparoscopische chirurgie opheft; het gebrek aan dieptewaarneming en de problematische hand-oogcoördinatie.

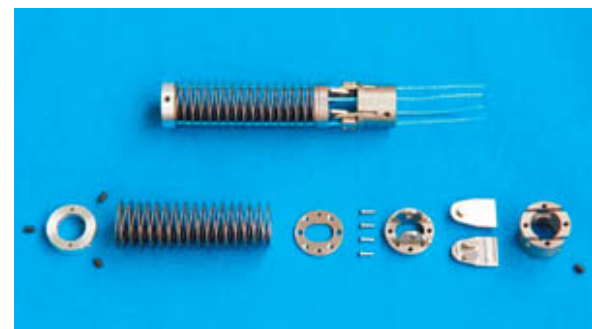
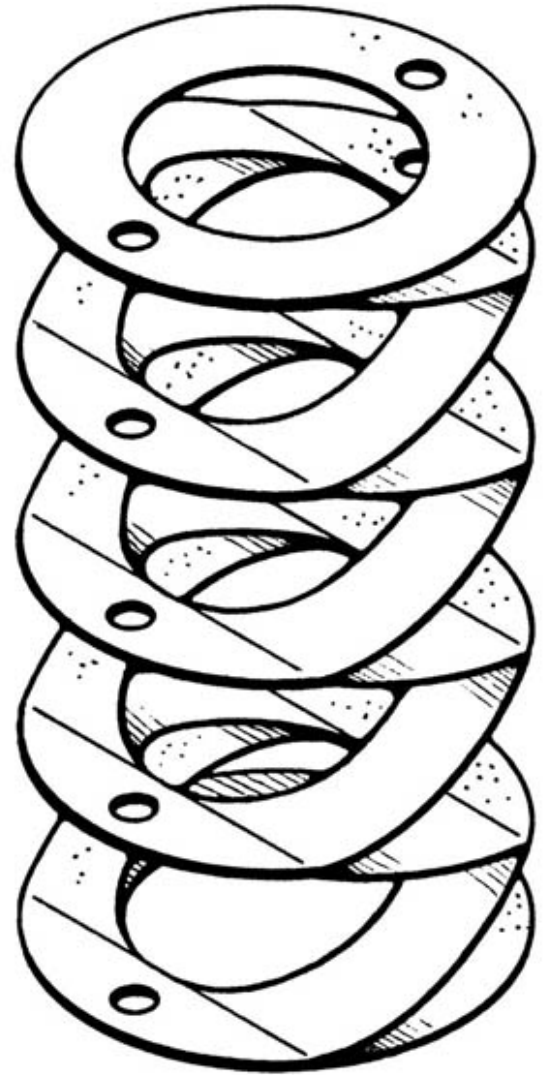
Bovendien heeft Breedveld laten zien dat je met rechttoe-rechtaan werktuigbouwkunde nog steeds lastige problemen kunt oplossen. Inmiddels is hij bezig met een nieuw prototype waarvan de tip in alle richtingen 180 graden kan worden verdraaid. Hierdoor kan de kijkrichting van de camera langs een bolschaal worden bewogen. Het nieuwe prototype heeft bovendien een eenvoudiger mechanisme en een kleinere diameter.

Breedveld: 'Ik zit te popelen om het ding in elkaar te zetten, maar ik wacht nog op de onderdelen die nu in Japan gemaakt worden.'

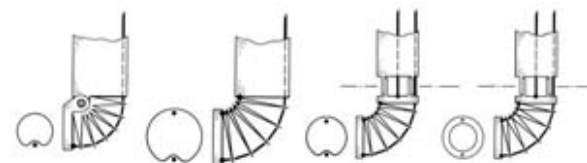
Voor nadere
informatie kunt
u contact
opnemen met dr.
ir. Paul
Breedveld,
tel. (015)
278 5232,
e-mail

[breeldveld@wbmt.](mailto:breeldveld@wbmt.tudelft.nl)

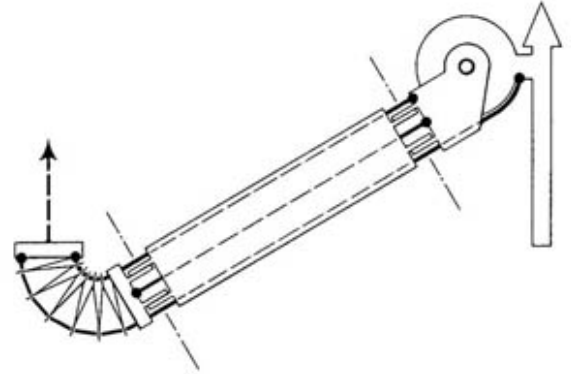
tudelft.nl



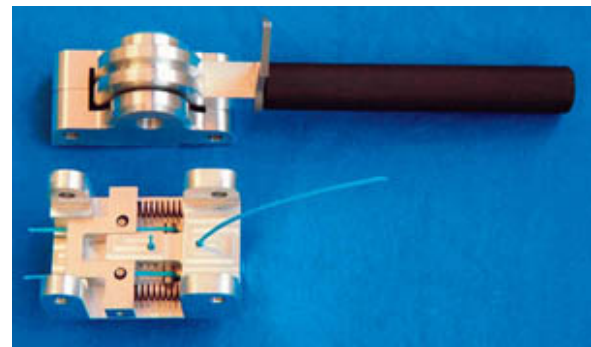
Onderdelen en assemblage van de endoscooptip.



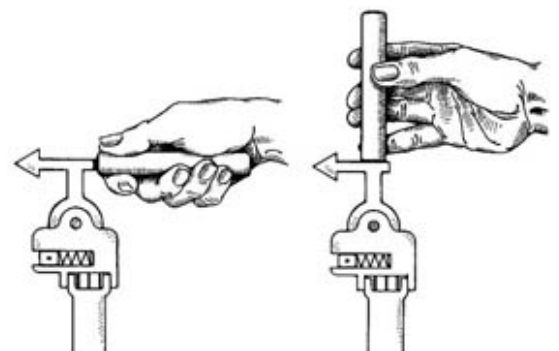
A Minimalisatie van de kromtestraal met behulp van een scharnier en een «ingestulpte» spiraalveer. Wanneer de trekdraad wordt gevierd, gaat de veer kromstaan. Bij B is het scharnier vervangen door een trekdraad die geheel is aangetrokken. Bij C is boven de veer een scharnier aangebracht waarmee de zijwaartse verdraaiing van de tip wordt aangestuurd. Bij D is de veer vervangen door een andere veer, die veel eenvoudiger is te fabriceren.



De trekdraad die de veer bestuurt, rolt af langs een schijf in de handgreep. De diameter van de schijf is 2x zo groot als de diameter van de endoscoopschacht. Hierdoor blijven het handvat en de tip altijd evenwijdig aan elkaar. Het scharnier boven de veer is via twee trekdraden verbonden met een identiek scharnier in de handgreep. Een zijwaartse verdraaiing van het handvat resulteert hierdoor in een identieke verdraaiing van de tip.



Handgreep half in elkaar gezet. Bovenaan het handvat met de schijf. Onderaan een mechanisme waarmee de twee zijwaartse trekdraden op spanning worden gehouden.



Twee mogelijke standen van het handvat. Bij de Endo-Periscoop is gekozen voor het rechter handvat, omdat de translaties en de rotaties van de tip hiermee eenvoudiger zijn te besturen. De translaties worden aangestuurd door de hand te verplaatsen, de rotaties door het handvat tussen de vingers te rollen



De Endo-Periscoop compleet in z'n koffertje.



De endoscooptip kan zijwaarts worden verdraaid tussen -60 en $+60$ graden (links), en op- en neerwaarts tussen 0 en 180 graden (rechts). Het is de bedoeling om de endoscooptip te voorzien van een steriele latex huls, die na elke operatie wordt vervangen.

