

Cad Cam

In de

Orthopedie Techniek

F.Holtkamp
mei 2000

1. Inleiding.

Tot op de dag van vandaag is de vervaardiging van veel prothesen en orthesen min of meer een ambachtelijk proces dat zeer arbeidsintensief is. Arbeidsintensief wil zeggen dat het relatief gezien veel tijd vraagt om tot een goed produkt te komen. De kans op fouten of 'n afwijking, bijvoorbeeld een maatafwijking, tijdens het produktie proces is niet gering. Ook de kans op verlies van gegevens of een foutieve interpretatie bij een mondelinge of schriftelijke gegevensoverdracht is aanwezig. Daarnaast is de reproduceerbaarheid van het product, wat het geval zou zijn bij bijvoorbeeld een herverstreking, door dit proces zeker niet gegarandeerd.

De hierboven beschreven nadelen of tekortkomingen in het conventionele produktie proces is onder andere de aanleiding geweest tot de ontwikkeling van cad / cam, computer aided design / computer aided manufacturing, systemen in de orthopedie.

Uiteindelijk moet het met deze systemen mogelijk worden om in een gering tijdsbestek een betere prothese of orthese te kunnen maken. Beter houdt dan in deze context in dat de prothese of orthese in een kortere maatneem- en produktie tijd minstens zo goed moet passen waarbij een grotere reproduceerbaarheid en gegevensoverdracht mogelijk moet zijn.

2. Waarom cad / cam.

2.1. Onderbeen prothese

De onderbeen prothese bestaat uit een aantal onderdelen, onder andere de voet, de bevestigingen, adapters, het buisframe, de kosmetiek en de stompkoker, waarbij deze laatst genoemde het meest kritieke onderdeel is vanwege de interface functie tussen lichaam en voorziening. Dit onderdeel bepaalt immers in hoge mate of de patiënt wel of niet tevreden is met het geheel. Een goede pasvorm van de stompkoker is essentieel, immers alle krachten die tijdens het lopen optreden moeten middels de stompkoker overgebracht worden. Wanneer de koker goed past zal het vertrouwen op de technische voorziening ook hoger zijn. De stompkoker fungeert als intermediair tussen het lichaam en de rest van de prothese, met de grond. Gezien het feit dat de stompkoker een "uniek produkt" is en de andere onderdelen van de prothese geprefabriceerde onderdelen of halffabrikaten zijn, zal hier dan ook de meeste aandacht naar uitgaan.

2.2. Conventionele methode.

Om te komen tot een goed passende stompkoker, wordt begonnen met het maken van een negatief gipsmodel. Over de stomp wordt een tricotkousje aangetrokken waarop met een speciaal potlood, een anilinepotlood, de tibia, patella, fibulakopje, femur condylen en eventueel aanwezige botpunten of gevoelige plaatsen worden aangetekend. Over deze kous wordt de stomp met gipszwachtels gezwachteld. Tijdens het uitharden van deze zwachtels wordt middels de zogenaamde modelleergreep een bepaalde druk uitgeoefend, onder tegen de patella, in de knieholte, en boven de

condylen.

Na uitharding wordt het gipsmodel afgenomen en volgestort met gips, waarbij een positief model ontstaat waarin de eerder aangetekende punten zijn overgenomen. Na correctie van het model met een rasp, wat zo snel mogelijk moet gebeuren in verband met het doorharden waardoor het gips moeilijker is te bewerken e.d., kan het model gladgeschuurd worden. In de praktijk blijkt het problemen te geven als correctie door iemand ander plaatsvindt dan degene die het model gemaakt heeft. Hier vindt dan ook het eerder genoemde dataverlies, of interpretatie verschil door de werknemer plaats.

Nadat het gipsmodel is gladgeschuurd wordt er een polyform binnenkoker gemaakt, waar overheen een plastic folie wordt getrokken. Deze folie dient om vanuit de binnenkant het model vacuüm te kunnen zuigen zodat de folie strak tegen het gipsmodel komt aan te liggen. Hierna wordt bewapening in de vorm van glasvezel- of koolstofvezel-tricot aangebracht, waar overheen een buitenfolie komt te zitten. Tussen buiten- en binnenfolie wordt giethars van bovenaf ingegoten, welke over het hele model verdeeld wordt. Na uitharding kan het gips weggehaald worden en kan de stompkoker afgewerkt worden. De prothese kan nu worden gecombineerd met adapters, een onderbeenbuis en prothesevoet. Als de prothese in eerste instantie klaar is kan deze door de patiënt gepast worden waarbij, er indien nodig kleine aanpassingen aangebracht kunnen worden en de prothese optimaal uitgelijnd wordt. Is de meest optimale afstelling bereikt dan kan de prothese verder afgewerkt worden met een schuimhoes die in de vorm van het goede been geslepen wordt. Na een laatste controle kan de prothese afgeleverd worden.

2.3. Bestudering conventionele methode.

Tijdens het productieproces van een onderbeen prothese blijkt dat het aanmeten van de prothese ongeveer 6 tot 6¹/₂ uur in beslag neemt. Hierbij is opgenomen het opmeten van de stomp, het gipsen, het corrigeren en het drogen van het gipsmodel. Na het aanmeten moet de prothese gemaakt worden, dit neemt ongeveer 7¹/₂ uur in beslag. Het maken bestaat uit de vervaardiging van de polyformkoker, het gieten en het samenstellen van de prothese. Het in de pas maken van de prothese duurt ongeveer 2¹/₂ uur. Het afwerken neemt plus minus 8 tot 9 uur in beslag. Tot slot neemt de controle en aflevering nog 2 uur tijd in beslag. Totaal aan tijd betekent dit dat het maken van een prothese op de conventionele methode ongeveer 27 uur in beslag neemt.

2.3.1. Nadelen conventionele methode.

Het blijkt nu dat de vervaardiging arbeidsintensief en slecht reproduceerbaar is. Tijdens de vervaardiging treedt er het eerder genoemde informatie verlies op. Bij de vervaardiging van een koker gaat steeds het uitgangsmodel, het gipsnegatief, verloren, wat betekent dat bij een herhaalversterking steeds de hele cyclus opnieuw moet worden doorlopen. Ook zijn er problemen bij de informatie-overdracht. Wanneer orthopedisch-instrumentmakers elkaars werk overnemen zal er een bepaalde hoeveelheid informatie vergeten of anders geïnterpreteerd worden.

2.4. Mogelijke verbetering middels cad / cam.

Uit de hierboven beschreven nadelen kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- Er is behoefte aan een productie methode waarbij geen informatie verlies optreedt, m.a.w. het uitgangspunt moet steeds bewaard blijven, waarbij alle veranderingen aan de stompvorm geregistreerd moeten worden.
- Het productieproces kan, door automatisering van verschillende gedeelten, in tijd verkort worden, vooral het aanmeten, gieten en afwerking kunnen hiervoor in aanmerking komen, de tijdswinst ligt tussen de 4 en 8 uur. Uiteindelijk zou de prothese hierdoor ook goedkoper kunnen worden.
- De spreiding in pasvorm van de stompkoker moet verkleind worden door het vastleggen van de vorm minder afhankelijk te laten zijn van de individuele ervaring en vaardigheid van de orthopedisch-instrumentmaker.

Door het toepassen van cad / cam systemen zouden de hierboven gestelde wensen wellicht gerealiseerd kunnen worden, waarbij de eerder genoemde nadelen tenietgedaan kunnen worden. Uit de beschrijving hierboven is uitgegaan van een onderbeenprothese. De vergelijking die hier gemaakt is geldt overigens ook voor bovenbeenprothesen.

3. Wat is cad / cam.

Cad / Cam staat voor Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing, wat zoveel wil zeggen als het ontwerpen m.b.v. de computer en het fabriceren met de computer, (lit 1). Met de invoering van cad / cam systemen wordt nogal ingegrepen op het productieproces zoals men dat kent vanuit de conventionele methode. De gevolgen die dit heeft worden nogal onderschat, vaak denkt men door invoering van deze systemen kant en klare oplossingen voor de problemen in huis te halen. Natuurlijk is het zo dat de computer een aantal zaken prima kan regelen, maar ook is het zo dat met de invoering van computers nieuwe problemen opdoemen. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 1, er wordt gebruik gemaakt van speciale weergave van de koker waar toch op een zekere manier gewend aan geraakt moet worden.

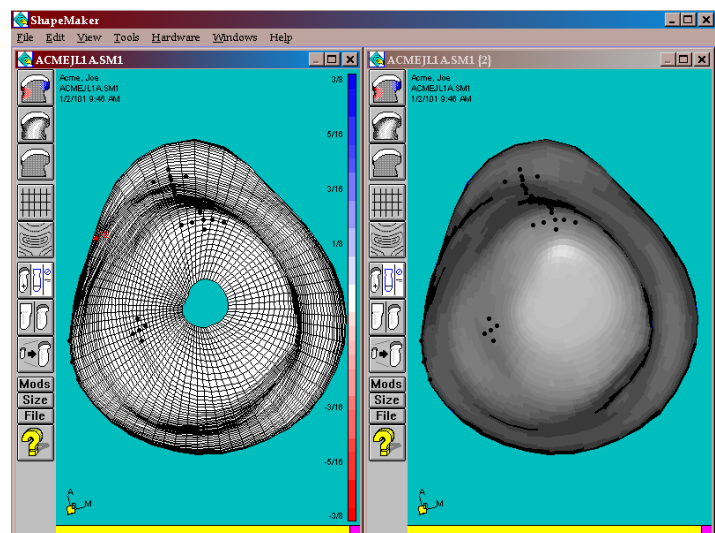


Fig.1 Een proximaal hollow (links) en een distaal solid (rechts)

In dit hoofdstuk wordt getracht een indruk te geven van wat cad / cam is, wat kan het, wat zijn de voordelen en welke problemen men kan verwachten.

3.1. Inleiding.

De ontwikkeling op het gebied van de computertechnologie van de laatste jaren is stormachtig geweest, vooral de ontwikkelingen op pc gebied. De computers worden steeds kleiner en krachtiger, sneller en goedkoper. Verrassend is dat 10 jaar geleden een toen moderne computer net zoveel kost als een nieuwe vandaag de dag, echter de computer van vandaag is qua capaciteit en mogelijkheden onvergelijkbaar met de computer van toen. Wordt ook de prijsinflatie meegenomen in de vergelijking dan is de prijs van een computer alleen maar lager geworden.

Aangezien de computers steeds krachtiger zijn geworden is het mogelijk geworden grote hoeveelheden data, te hanteren. Omdat deze verwerking geen probleem meer was, is toepassing van computers met de specifieke software binnen de orthopedie mogelijk geworden. Immers het in data omzetten van de 3 dimensionale geometrie van een stompvorm levert een grote hoeveelheid gedigitaliseerde (3D) data op, waarbij geldt dat hoe nauwkeuriger de stompvorm moet zijn, hoe meer informatie er nodig is, die op een snelle manier verwerkt moet kunnen worden door de hard- en software. In een recente studie (lit 2) naar het gebruik van Cad/ Cam technologie is duidelijk aangetoond dat stompkokers vervaardig met behulp van Cad/Cam zeker zo goed zijn als conventioneel geproduceerde kokers waarbij op een efficiëntere manier met de gegevens omgegaan kan worden.

Naast de eis van de nauwkeurigheid geldt de eis van de kostprijs en efficiency.

Samen met het conclusies uit paragraaf 2.4. blijkt dat de computer wellicht uitkomst kan bieden.

De voordelen van het werken met computersystemen zijn o.a.:

- hoge rekensnelheid
- grote informatieverwerking
- hoge reproduceerbaarheid
- digitaal opslaan van patiënt / client data
- vormen van een elektronisch patientendossier en of koppeling daaraan.

De nadelen van computersystemen zijn o.a.:

- vaak (toch) complexe systemen
(werking, beheersbaarheid)
- hoge investeringen
(totaal cad / cam systeem inclusief productiemachines)

4.2. De opbouw van een cad / cam systeem.

Een cad / cam systeem zoals men die in de orthopedie kan tegenkomen bestaat in principe uit vier fasen. Elke fase wordt gerealiseerd door een specifiek component die nodig is in de realisatie kring.

Als eerste onderdeel in de kring bevindt zich de data-acquisitie, daarna vindt een vertaling van gegevens plaats. Na de vertaling van de data kan deze met behulp van software bewerkt worden. Na bewerking kan het model met de aanpassingen geproduceerd worden door een machine. Concreet hebben deze fasen elk hun eigen element in de keten, te benoemen als de scanner, de computer, de software, en de machine voor de vervaardiging, zie ook fig. 2.

3.2.1. Data-acquisitie

Zoals genoemd is de eerste fase in het cad/cam proces het verzamelen van gegevens zodanig dat de software op de computer hiermee overweg kan. Dit verzamelen van gegevens, bijvoorbeeld van een onderbeenstomp kan gerealiseerd worden door gebruik te maken van een scanner. De scanner kan een mechanische uitvoering hebben, hierbij wordt de stompvorm nog steeds vanuit een gipsnegatief gedigitaliseerd. Een metalen taster meet axiaal en radiaal een aantal posities binnen in het model. De software zal deze meetpunten terugvertalen naar een 3d coördinatenstelsel zodat de vorm van de stomp op het beeldscherm gepresenteerd kan worden.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van een laserscanner (fig. 3) is dit negatiefmodel niet meer nodig, er kan nu direct vanaf de stomp gedigitaliseerd worden. De patiënt plaatst zijn stomp in een scanapparaat waarna een laserstraal de stomp scant en de software deze informatie vertaalt naar een aantal coördinaten.

Uit deze coördinaten kan naderhand de stomp in een 3D presentatie op het beeldscherm afbeelden.

Is er geen scanner aanwezig, dan kan men afhankelijk van het type software, toch nog een model invoeren in de computer waarbij gebruik gemaakt wordt van referentie maten.

Door kenmerkende maten op te meten van de stomp, zoals stomplengte en diameters, kan men in een in de software aanwezige bibliotheek aanroepen die de meest gelijkende aanwezige stompvorm ophaalt en verschaalt naar de ingevoerde maten. Het nadeel van deze methode is dat de uiteindelijke stompvorm nooit exact is aan de vorm van de stomp.

De meest nauwkeurige scan-methode is die van de laserscanner. Het aantal gemeten punten is hier het grootst, dus ook de hoeveelheid data. Hierdoor is wel een zeer krachtige computer nodig.

Ook is hier de invloed van de orthopedisch instrumentmaker sterk verminderd, omdat er geen gipsmodellen worden gebruikt. Natuurlijk

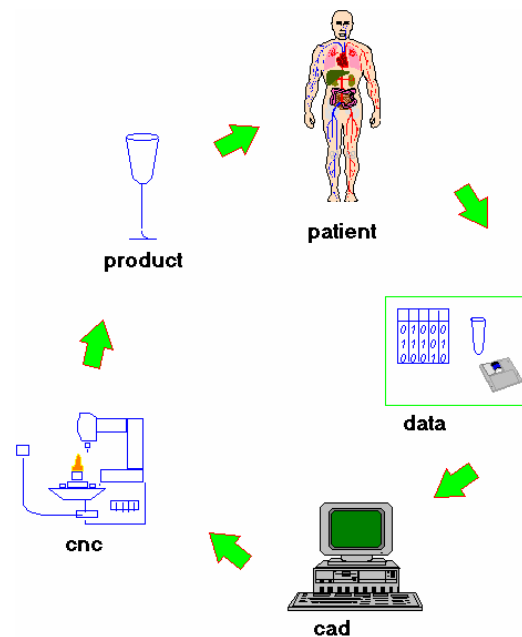


Fig. 2 De keten tussen de product

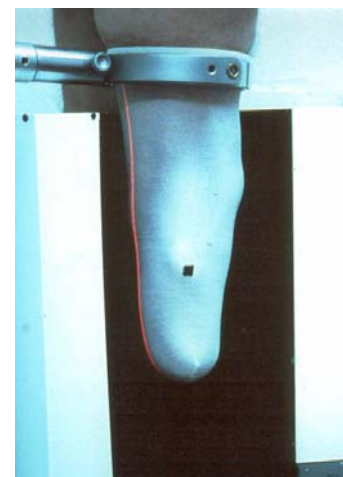


Fig. 3 Een laserscanner

zijn er wel uitzonderingen of andere werkwijzen te volgen ingeval de patiënt bijvoorbeeld te zwak is om in de scanner te staan.

Dan kan er, om toch over de digitale informatie te kunnen beschikken, er besloten worden om een gipsmodel te maken en dit middels de laser scanner te scannen. Een ander voordeel van de laserscanner is dat de stomp min of meer statisch belast wordt waardoor een meer aan de werkelijkheid gerelateerde vorm verkregen wordt.

De data voor de meest ideale stompvorm wordt verkregen wanneer tijdens het lopen gemeten zou kunnen worden, dit is echter met de huidige stand van zaken nog niet mogelijk.

Ook wordt op dit moment gekeken naar de invloed van de benige structuur en de mechanische eigenschappen van het zachte weefsel hieromheen. Op dit moment wordt onderzoek verricht naar de eigenschappen van deze weefsels. Onder andere door middel van MRI en NMR scans waarvan met de verkregen informatie modellen op te stellen zijn waarmee de optimale belasting van een onderbeenstomp gesimuleerd kan worden.

Een nieuwe ontwikkeling dit op dit moment plaatsvindt is data-acquisitie van de stomp vorm met behulp van een zgn. data-glove, een handschoen vol sensoren die de orthopedisch technoloog aantrekt en waarmee op een natuurlijke wijze de vorm van de stomp, door de hand met de handschoen langs en over de stomp te bewegen, geometrische data wordt verzameld van de stomp. Deze data kan dan net als met een normale scanner in de computer verwerkt worden.

3.2.2. De computer.

Bij de vervaardiging van stompkokers middels cad / cam systemen komt men niet om het gebruik van computers heen. De grootste overgang voor de orthopedisch instrumentmaker is waarschijnlijk ook het cad gedeelte van het systeem. Werd het model tot nu toe gecorrigeerd met de rasp wanneer er materiaal weggehaald moest worden, of wanneer er materiaal bij moest door het al of niet aanvullen met gips, wanneer met de computer gewerkt wordt zal het corrigeren middels het beeldscherm, muis en toetsenbord moeten gebeuren. Het corrigeren van de stompvorm zal nu op de monitor plaatsvinden, de stompvorm wordt hierbij in de meeste gevallen middels een 3D presentatie afgebeeld (figuur 4). Dit corrigeren vraagt om een andere benadering van

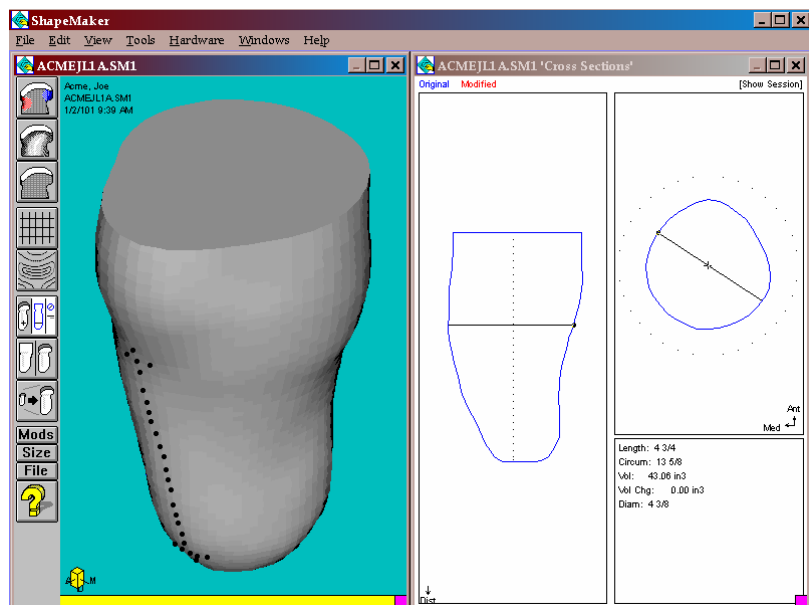


Fig 4. Een 3d wireframe weergave van een stomp met aangegeven het gebied voor bewerking (lit3.)

correctie. De orthopedisch instrumentmaker moet b.v. eerst aangeven in welk gebied hij wil gaan corrigeren. Pas na de definitie van het gebied kan er daadwerkelijk gecorrigeerd worden door bijvoorbeeld het aanklikken van een punt, welke in het eerder gedefinieerde gebied ligt, waarna met de muis het gebied gecorrigeerd kan worden. Van de orthopedisch instrumentmaker zal dan ook een "andere denkwijze" verlangd worden, waarbij kennis van computers noodzakelijk is.

Een van de voordelen van het werken met computers is dat alle wijzigingen bewaard blijven, zodat men altijd terug kan naar een vorig model. Zeker bij een herverstreking levert dit tijdswinst op.

Doordat bij het scannen van stompvormen, vooral met de laserscanner, nogal veel data gegenereerd wordt, worden er nogal zware eisen gesteld aan de hardware, de computer zelf.

De meeste software maakt gebruik van een computer met een pentium III processor met harde schijf van minimaal 20 GB waarbij ook een groot zgn. intern geheugen in de computer nodig is, wenselijk is 265 kB minimaal. In een aantal gevallen zal met een kleinere configuratie gewerkt kunnen worden, hierbij moet men zich dan wel realiseren dat de prestaties achteruit gaan.

3.2.3. De CNC machine.

Het Cam gedeelte van het systeem bestaat uit een CNC (Computer Numerical Control) frees- of draaimachine.

Zijn alle correcties uitgevoerd dan kan er middels de software waarmee de eerder genoemde correcties zijn uitgevoerd een zgn. CNC file aangemaakt worden waarmee een CNC draai-, of freesmachine aangestuurd kan worden. Het hangt van het software-pakket af of de stompkoker model direct op een bijgeleverde draai-, of freesmachine uitgefreesd kan worden of dat men een keuze heeft uit een bepaald type freesbank. Vanwege de kosten voor een speciale freesbank (5-assig gestuurd) zal deze mogelijkheid vooral aangetroffen worden in onderzoeksinstellingen. In de praktijk zal veelal gebruik gemaakt worden van een bijgeleverde draaibank voor de productie van stompvormen. Het vervaardigen van de stompvorm gebeurt in negen van de tien gevallen in polyurethaanschuim. Hierbij is de vormnauwkeurigheid met betrekking tot het computermodel zeer groot.

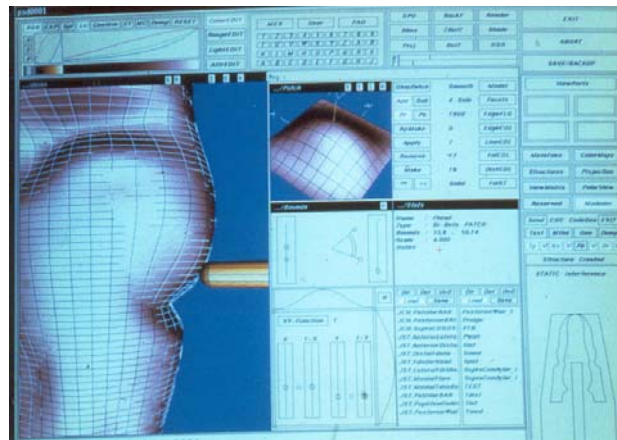


Fig. 5 de productiesimulatie weergave op een beeldscherm

Er zijn zelfs software-pakketten waarbij men van tevoren middels een simulatie kan zien hoe het produkt vervaardigd wordt en of tijdens de produktie op de machine alles goed gaat (figuur 5). De verkregen positieve stompvorm wordt gebruikt om de stompkoker te vervaardigen.

Een nog verder te ontwikkelen vervaardigingsproces is de vacuüm dieptrek methode. Deze methode is technisch zeker mogelijk maar nog niet of nauwelijks operationeel.

4. Orthopedische systemen t.b.v. onder en bovenbeen prothesen.

In de nog korte historie van cad / cam systemen in de orthopedie zijn er toch al een aantal verschillende systemen ontwikkeld. Hierbij mag men aannemen dat de meest recente systemen de meest uitgebreide en vooral het gebruiksvriendelijkst zijn. Vooral dit laatste is zeer belangrijk voor wat betreft de acceptatie van dit soort technieken. Immers een systeem waarop een makkelijke manier mee te werken is zal eerder worden gebruikt dan wanneer moeilijke instructies nodig zijn.

Een aantal cad / cam systemen welke in de orthopedie gebruikt worden zijn:

- canfit
- barlach
- shape
- shapemaker
- capod
- biosculptor
- mex

De eerste zes software pakketten zijn geschreven voor het gebruik op een PC (personal computer), dat wil zeggen een 16 bits computer. Echter ook een 32 bits computer is tegenwoordig beschikbaar op de pc markt. Een PC configuratie die hieraan voldoet, is b.v. een Pentium III 500 MHz computer. Hierbij komt dan natuurlijk nog de monitor, zip of floppy drives (1,44 MB) printers e.d.

Een CD rom drive al dan niet met DVD mogelijkheid is tegenwoordig noodzaak om op de computer beschikbaar te hebben. Naast pc platforms kan ook gekozen worden voor een zgn. workstation. Dit is een zwaardere uitvoering van een 32 bits computer waardoor sneller gerekend kan worden.

Voor het maken van een back up kan gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld de eerder genoemde zip schijf hoewel. Ook kan gekozen worden voor de Cd-(re)writer of optical disks.

Vergelijken we deze twee configuraties dan blijkt dat een workstation veel meer data kan verwerken en in een kortere tijd dan een PC. Een voordeel hiervan kan zijn dat er b.v. meer meetpunten, gemeten door de scanner, meegenomen kunnen worden. Hierdoor zal de zgn. wireframe (draad-frame) structuur veel fijner zijn wat tot gevolg heeft dat onderlinge overgangen een nauwkeuriger verloop hebben. Het grote nadeel van workstation is dat deze in vergelijking met een PC duur zijn in aanschaf en onderhoud, zodat voor b.v. een kleine orthopedische werkplaats een dergelijk systeem niet makkelijk bereikbaar zal zijn.

Nu is het zo dat de laatste generatie PC's, de Pentium III configuratie, zeer krachtig zijn.



Fig. 6 Een compleet systeem gevormd door de computer met productieunit

Men kan zelfs stellen dat de krachtigste PC's de relatief "zwakste" werkstations bedreigen. Hierbij komt dat een PC met genoemde configuratie een fractie van een workstation kost. Buiten het bovenstaande kan men zich ook afvragen hoe nauwkeurig de uiteindelijke stompkoker moet zijn.

45.1. De Software.

Elk software pakket heeft uiteraard zijn eigen uitgangspunten en systeemeisen. Hieronder volgt een summiere beschrijving van een aantal software pakketten welke op het gebied cad / cam voor de orthopedie op dit moment gebruikt worden. De verschillen in de software pakketten voor PC's zijn onderling zijn nogal groot. Dit loopt uiteen van een zeer eenvoudig pakket als Shape tot een wat meer geavanceerder pakket als Biosculptor.

Shape, een van de eerste software pakketten werkt b.v. met standaard ingevoerde stompvormen waaruit na een vergelijking met de ingevoerde waarden van de gemeten stomp het meest optimale alternatief gekozen kan worden. De grafische interface van Shape is ook zeer eenvoudig van opzet en wijzigingen aan het model op het beeldscherm zijn zeer beperkt.

Een meer geavanceerd pakket is b.v. Canfit of Barlach, (fig 6).

Gemeten waarden kan men b.v. middels het toetsenbord, of scanner, invoeren waarna deze middels een 3D presentatie op het beeldscherm worden weergegeven.

Modificaties zijn relatief eenvoudig aan te brengen en men kan constant zien wat men aan het doen is.

De stompvorm moet middels een specifieke CNC machine vervaardigd worden.

Een van de cad / cam systemen van recenter datum is Biosculptor. Hiervan is de grafisch interface te vergelijken met die van b.v. Windows. Gegevens invoer verloopt via het toetsenbord of laserscanner.

Modificaties zijn zeer eenvoudig door te voeren en de 3d presentatie kent in de zgn. Solid Model staat een zeer hoog resolutie, zodat de uiteindelijke oppervlakte van de vorm via het scherm goed te beoordelen is. Via een specifieke CNC machine wordt de stompvorm vervaardigd.

Een van de weinige software-pakketten dat draait op een workstation is Mex. Dit pakket kent een zeer uitgebreide configuratie van mogelijkheden, (fig 7). Een grote bibliotheek van b.v. standaard gebruikte modificatie kan gebruikt worden en het werken met dit systeem is een afgeleide van hoe een orthopedisch instrumentmaker werkt. De gegevens invoer vindt plaats door middel van een scanmethode zoals b.v. een laserscan of MRI of een CT scan. In de software vindt een preprocessing van deze data plaats.

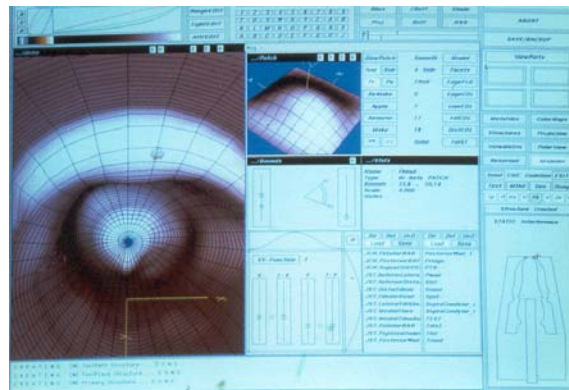


Fig. 7 Cad systeem mex

De stompvorm kan in principe door een aantal verschillende CNC freesmachines vervaardigd worden, binnen het pakket kan de juiste machine gekozen worden. Voor de orthopedisch instrumentmaker geeft dit systeem een zeer grote vrijheid in werken. Nadelen van dit systeem is dat het vrij kostbaar is en dat er nogal wat aan systeemkennis nodig is om hiermee te kunnen werken.

In het algemeen geldt dat in de praktijk flink op de kosten kan worden bespaard door de data van de stompvormen naar een centraal gelegen produktiewerkplaats te sturen, b.v. op floppy of via een modem.

In deze werkplaats worden de modellen dan vervaardigd en teruggestuurd voor de afwerking. Zo is er in de orthopedische werkplaats alleen een scanner en een computer nodig.

5. Informatica en Werktuigbouwkundige achtergrond.

De interne structuur van de verschillende cad / cam systemen zijn in principe allemaal verschillend, afhankelijk van de uitgangspunten en eisen van de ontwerpers. Toch is van deze structuur wel een algemeen beeld te vormen. Zo werkt bijna elk pakket met een database waar b.v. de cliënt / patiënt gegevens in staan. Ook is er altijd sprake van 'n een of andere vorm van gegevens invoer, vaak middels een scanner. Daarnaast moet de stompvorm op een beeldscherm worden gepresenteerd t.b.v. eventuele correcties en beoordelingen.

Tot slot zal het model middels een CNC file naar de machine toe moeten.

Hoe een en ander middels pre- en postprocessoren aan elkaar is gekoppeld is voor het software pakket Mex weergegeven in figuur 8.

Na het scannen van de stomp vorm moet de verkregen data worden bewerkt zodanig dat dit gebruikt kan worden door de software van het cad systeem, deze bewerking wordt preprocessing genoemd en wordt uitgevoerd door een preprocessor, een

"software vertaler". Middels het cad systeem worden de nu verkregen gegevens samen met bijvoorbeeld patiënt naam, datum e.d. opgeslagen in een database zodat deze altijd oproepbaar blijven. Op het cad systeem kan nu de stompvorm al dan niet bewerkt worden. Om te komen tot een CNC file welke de frees of draaimachine kan lezen moet de data uit het cad systeem naar dit CNC formaat vertaald worden, wat middels de postprocessor verloopt.

Voor het goede begrip, voor elk type scanner en elk type frees of draaimachine moet een unieke pre- en postprocessor ontwikkeld worden, wat de uiteindelijke software natuurlijk vrij hoog in prijs doet stijgen. Dit is dan ook de reden dat veel fabrikanten van cad systemen kiezen voor één type

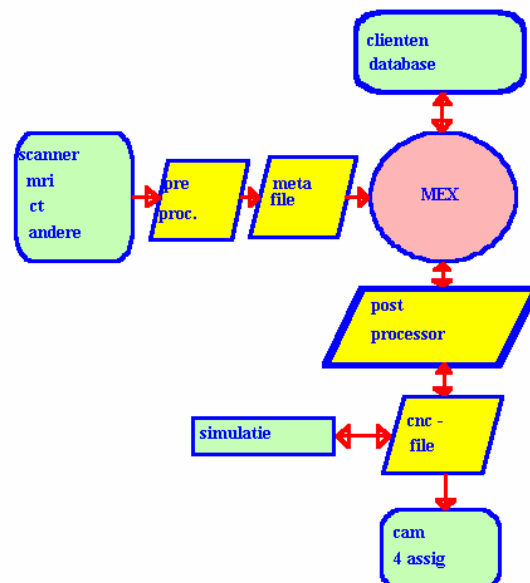


Fig. 8 flowchart software systeem

scanner en één type freesmachine zodat ook maar een pre- en postprocessor nodig is.

Een fundamentele keus gaat veelal vooraf aan de ontwikkeling van een software pakket. Veel software pakketten werken op basis van voorgeprogrammeerde stompvormen op voorgeprogrammeerde model gebieden. In de loop der tijd is er een verzameling ontstaan van veel voorkomende modellen. Deze zijn gecategoriseerd en ondergebracht in zgn. productfamilies. Een nieuwe kokervorm wordt dan gebaseerd op eerder gedane ervaringen. Een andere invalshoek in de ontwikkeling van cad systemen is het in staat zijn om steeds vanaf het begin te beginnen. Dus niet op basis van productfamilies maar beginnen met een “schone” datafile. Alleen de gescande data die de stompvorm representeert. Vandaaruit kan dan gewerkt worden om indien noodzakelijk de koker zo goed mogelijk te bewerken en uiteindelijk goed te laten passen.

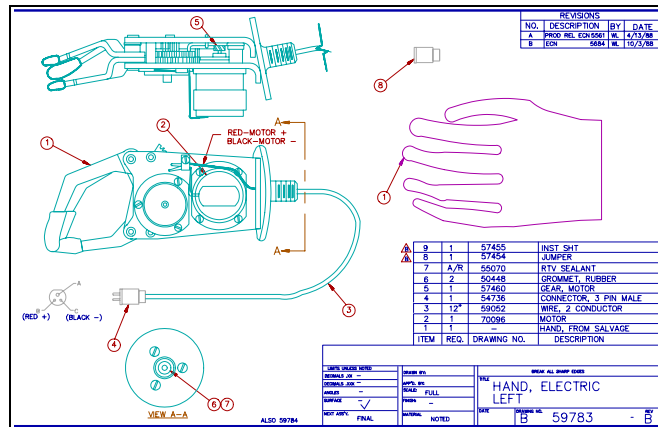


Fig 9. Ontwerp van een electr. hand m.b.v. een cad systeem

Hierbij wordt (lit.4) in toenemende mate van software gebruik gemaakt die met behulp van complexe wiskundige algoritmen zoals splines, bezier curves en dergelijke die de geometrie en dus de vorm beschrijven van de pasvorm van de koker. Door een dergelijke parametrische presentatie van de prothese koker is het eenvoudig geworden om op het scherm, de monitor, noodzakelijk geachte wijzigingen aan te brengen.

6. Ontwerpen van prothesen.

Bij het ontwerpen van onderdelen voor prothesen en orthesen wordt tegenwoordig ook steeds meer de computer ingeschakeld. Naast het ontwerpen en aanpassen van de stompkoker wordt de computer ook gebruikt voor het ontwerpen van andere onderdelen welke zich in of aan een prothese of orthese bevinden.

Zo wordt b.v. bij het ontwerp van een hand alles getekend met een cad systeem op de computer (figuur 9). Grote voordelen hiervan zijn b.v. dat na het tekenwerk met behulp van een eindige elementen pakket er een krachten simulatie kan worden uitgevoerd. Hiermee is men dan in staat om, voordat er definitief ontwerp ligt al, een uitspraak te doen over de sterkte van de hand in het dagelijks gebruik, of men kan een uitspraak doen over het gebruikte materiaal waarvan de hand wordt opgebouwd.

Ook is het mogelijk om in dit geval elektrische bedradingschema's te genereren, zeker daar waar het de sensoren betreft die de hand aan moeten sturen.

Een ander voorbeeld waarbij de meerwaarde van cad systemen niet meer te weg te denken is is het

voorbeeld wat weergegeven is in figuur 10. Door de mogelijkheid de ontwerpen volledig in 3D uit te voeren is het mogelijk om, voordat er nog maar een onderdeel daadwerkelijk gefabriceerd is een uitspraak te doen over de werking van het onderdeel. In dit geval een kniescharnier. Op voorhand is een uitspraak te doen over mechanische eigenschappen als sterkte en vermoeiing.

Ook kan van tevoren door middel van simulaties de beweging van het scharnier bestudeerd worden, om aan de hand daarvan het ontwerp te verbeteren.

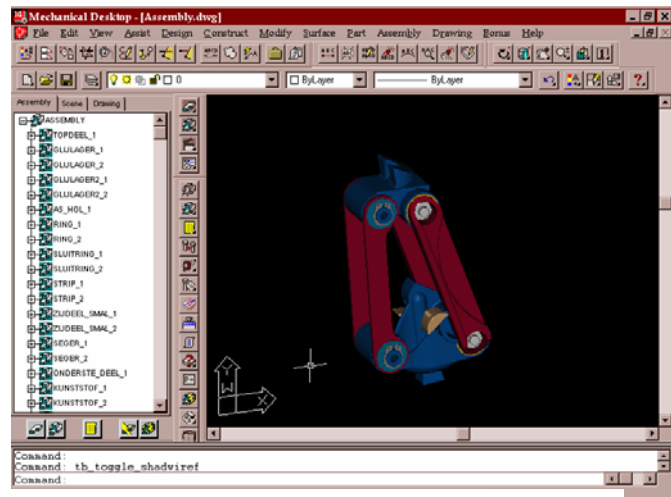


Fig. 10 een 3d presentatie van een vierassig kniescharnier

6.1 Cad / cam systemen t.b.v. endo-prothesen.

Ook voor de vervaardiging van endo prothesen, zoals b.v. een bekkenprothese kan gebruik gemaakt worden van cad / cam systemen. De ingangsdata wordt veelal verkregen uit meetgegevens welke door middel van MRI of CT scans verkregen zijn. Het software pakket genereert ook hier weer de uiteindelijke vorm van de prothese. Cad systemen voor toepassing bij het ontwerp van bijvoorbeeld een artificiële heup vragen gemiddeld genomen wel om zeer zware machines vanwege het feit dat er zeer veel gerekend moet worden. Niet alleen rekenen om bijvoorbeeld de maximale sterkte te berekenen of de optimale geometrie, maar ook het aansturen van de monitor en het laten bewegen van het object op het scherm vraagt zeer veel reken capaciteit. Een voorbeeld van een artificiële heup is weergegeven in figuur 11. Voor de komende jaren kan de verwachting uitgesproken worden dat systemen zoals hier beschreven zijn ook beschikbaar komen voor de orthopedie in relatie tot de vervaardiging van stompkokers voor prothesen. Het grote voordeel wat dan verkregen wordt is dat op voorhand te berekenen en te visualiseren is waar de grootste krachten uitgeoefend gaan worden. Vervolgens kan dan een uitspraak gedaan worden over de wanddikte en de sterkte van de koker, waarna als laatste stap de koker qua wanddikte en dus is gewicht geoptimaliseerd kan gaan worden. Met behulp van deze in ontwikkeling zijnde technologie wordt de mogelijkheid verkregen om een qua gewicht zo sterk mogelijke koker te ontwerpen.

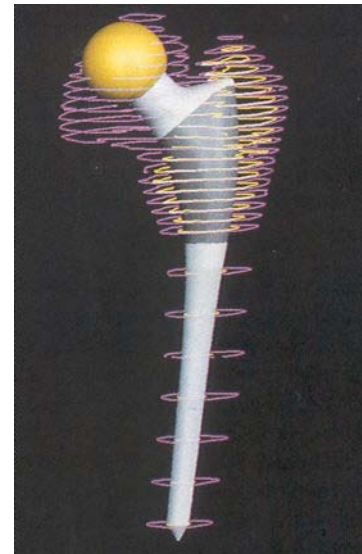


Fig. 11 Een weergave van een heup op een computermonitor

6.2. Stereolithografie.

Een van de problemen bij het plaatsen van endo-prothesen is dat men niets kan zien of voelen voordat de patiënt op de operatietafel ligt. Men kan dus nooit exact een idee krijgen van hoe de situatie is, ook niet na het scannen met b.v. een MRI scanner. De resultaten van de scanner blijven immers in principe 2D plaatjes. Om nu toch een goede indruk te krijgen van hoe de endo-prothese er uit komt te zien of hoe deze geplaatst moet worden en of er tijdens de operatie in het gebied erom heen wel genoeg ruimte is kan men zijn toevlucht nemen tot de stereolithografie, (lit 5,6).

Bij deze techniek wordt gebruik gemaakt van de data welke men heeft verkregen tijdens het scannen, onder andere door middel van MRI, deze data wordt door een cad model geleid, dus net als bij de eerder genoemde cad systemen, waarna het cad-systeem volgens dit cad model een laser aanstuurt die gericht is op een bak met vloeibare monomeren, een kunststof, welke gevoelig is voor licht. In het brandpunt van de laser verbinden en verharden de monomeren zich tot polymeren. De computer berekent de instelling van de laserstraal aan de hand van de gescande data. Zo wordt laag voor laag van het model of prototype opgebouwd.

Het resultaat is een model wat men kan vastpakken en van alle kanten kan bekijken en beoordelen, (figuur 12). Hierna kan besloten worden om het uiteindelijke model of prothese te vervaardigen middels de eerder genoemde of andere methoden.

Nu is deze methode al in gebruik voor het vervaardigen van prototypen en dergelijke. De verwachting is dat deze productiemethodiek ook binnen niet al te lange tijd beschikbaar komt voor het vervaardigen van stompkokers. In eerste instantie als prototype maar later wellicht ook als direct in het eindproduct te gebruiken prothesekoker.

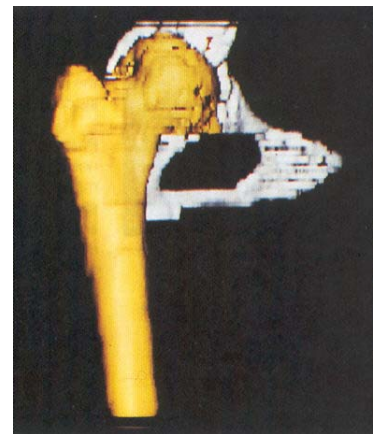


Fig. 12 Een stereolitisch product van het ox coxae met het femur

7. Toekomst.

Gezien de ontwikkeling welke de laatste jaren heeft plaatsgevonden op het gebied van de micro-elektronica en dus op het gebied van de computertechnologie, alsmede de ontwikkelingen op het gebied van de software en applicaties mogen we aannemen dat deze ontwikkelingen de komende jaren door zal gaan. Computers zullen nog steeds krachtiger en steeds kleiner worden, immers de fysieke grens is nog lang niet bereikt. Dit heeft tot gevolg dat ook in die branches waar tot nu toe de invoering van computers moeizaam is verlopen, deze langzaam aan hun plaats zullen gaan veroveren ook in de orthopedie. Beschouwen we nu de plaats van cad / cam systemen in de orthopedie, met name die welke gebruikt worden voor onder- en bovenbeen prothesen en (orthesen en romprothesen), dan zullen dit soort systemen ook langzaam aan hun plaats gaan opeisen, met name daar waar het gaat om optimalisatie van prothese kokers.

Een veelgemaakte opmerking door orthopedisch instrumentmakers is dat ze bang zijn het "gevoel in hun vingers" kwijt te raken door de steeds verdergaande invoering van cad / cam systemen.

Het vak orthopedisch instrumentmaker loopt voor een groot deel ook via de handen, zeker het maatnemen en het maken van gipsmodellen. Om toch een fysieke koppeling te houden met de orthopedisch technicus of orthopedisch technoloog zullen systemen die de mogelijkheid van het “gevoel” paren aan de voordelen van de digitale verwerking een goede toekomst hebben. Een systeem gekoppeld aan een data-glove heeft hiermee een begin gemaakt. Wellicht dat dit in de toekomst met behulp van Virtual Reality technieken deze koppeling nog meer geperfectioneerd kan worden.

8. Conclusies.

Het gebruik van cad / cam systemen in de orthopedie in Nederland is op dit moment, zij het groeiende nog beperkt, dit in tegenstelling tot het buitenland waar dit soort systemen al op wat uitgebreidere schaal worden gebruikt.

Voor de patiënten zijn met name de maatneemtechniek vriendelijker alsook de verkorte productietijd, zodat het uiteindelijke product sneller beschikbaar komt. Ook de betere reproduceerbaarheid en dus een constantere kwaliteit maakt invoering gewenst.

Een van de voorwaarden voor algemene acceptatie en invoering is, dat de systemen gebruikersvriendelijk zijn en aansluiten bij de denk- en werkwijze van de orthopedisch instrumentmaker.

Een nadeel van de systemen is de toch hoge investering aan hard- en software. Wellicht dat in de nabije toekomst dit door het opzetten van regionale productiecentra en door het uitontwikkelen van de hard- en software dit nadeel voor een deel kan worden tenietgedaan.

9. Literatuurlijst.

1. Klaas E. A., Stakenborg M. J. L.; (1990) Cad / cam / cae in de werktuigbouw, Kluwer, ISBN 90 201 2320 3,
2. Laemaire E.D. et al, (1999) Validation of a quantitative methode for defining CAD/CAM socket modification. Prosthetics and Orthotics Int., 23, 30-44.
3. Jansen M, (1997) Seattle Shapemaker 4.0 help on demand, Fontys.
4. Browne J. (1994) Cad Cam from principles to practice, Addison Wesley, ISBN 0 201 56502 1, 47-118.
5. Pauwels J.; (1992) Van cad model tot kunststof prototype Stereolithografie, cad-magazine 04
6. Hover M.; (1994) Computer bouwt heup na, volkskrant