

# PROTEZAREA MEMBRULUI SUPERIOR LA PERSOANELE CU AMPUTAȚIE DE BRAȚ

MOHORA Iulia<sup>1</sup>

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Constantin DOGARIU**

**REZUMAT:** Lucrarea prezintă tehnologiile moderne de realizare a protezelor mâinii la persoanele cu amputație de braț. S-a realizat scanarea 3D a mâinii sănătoase, după care se va obține în oglindă modelul protezei care va fi printat 3D și ulterior va îmbrăca mâna bionică. S-au studiat atât anatomia mâinii, unul dintre cele mai complicate segmente de membru ale organismului uman, datorită adaptării structurale și funcționale la complexitatea activităților umane ale acesteia. Privită ca un procedeu modern de fabricație ce promite transformarea viitorului într-un mediu sustenabil și personalizat individual, printarea 3D sau manufacturarea cu aditivi pe baza unui model digital are numeroase aplicații și avantaje pe care lucrarea le scoate în evidență.

**CUVINTE CHEIE:** mână, proteză, scanare 3d, printare 3d, bionică

## 1 INTRODUCERE

**Mâna** este unul dintre cele mai complicate segmente de membru ale organismului uman, datorită adaptării structurale și funcționale la complexitatea activităților umane. Traumatismele severe ale mâinii, creează un handicap major. Mâna omului este o capodoperă de complexitate mecanică, capabilă să efectueze manipulări motorii fine dar și de forță deopotrivă. Proiectarea unui model de protezare a mâinii omului, care este apropiat de mișcările naturale ale acesteia, necesită o mare complexitate de detalii anatomice care urmează să fie modelate și simulate.

Mișcarea modelului de mână trebuie să fie controlată de contracția musculară creată de mușchii artificiali. Se dorește realizarea unui model hibrid pentru a transforma valorile date de contracția reală a mușchilor în acționarea falangelor. Mușchii artificiali controlează direct rotirea oaselor bazate pe date anatomice și legi mecanice, și pot deforma țesutul pielii artificiale cu ajutorul unui sistem de arcuri. Proteza va trebui să prezinte și să realizeze mișcările corecte din punct de vedere anatomic și fizic. Măinile joacă un rol vital în fiecare aspect al vieții noastre de zi cu zi. Este nevoie de ele pentru a mânca, a scrie, a lucra, a comunica, a juca într-un cuvânt pentru toate activitățile.

## 2 STADIUL ACTUAL

Cunoașterea principalelor tipuri de prindere de mână este extrem de importantă, după cum proteza trebuie să fie proiectată în conformitate cu acestea.

Sunt prezentate trei forme de bază de prindere cu ajutorul mâinii, care stau la baza proiectării protezelor.

### 2.1 Prinderea

Prinderea este mișcarea principală a mâinii utilizată atât pentru obiecte mici, cum ar fi un ac sau o monedă, cât și pentru obiecte mari (fig. 1).



Fig. 1 . Prinderea

### 2.2 Prinderea unui maner cilindric

În acest caz se folosește palma mâinii pentru prindere, iar degetul mare ca punct de sprijin. Acest tip de prindere este utilizat pentru a lua un ciocan sau un alt instrument pentru activități care necesită putere (fig.2).



Fig. 2 . Prindere cilindrică

<sup>1</sup> Specializarea EPTR, Facultatea IMST;  
E-mail: iuliamohora@gmail.com;

### 2.3. Prinderea laterală

În acest tip de prindere , degetul mare este plasat pe fața radială împreună cu a doua falangă a degetului arătător (fig.3).



**Fig.3. Prinderea laterala**

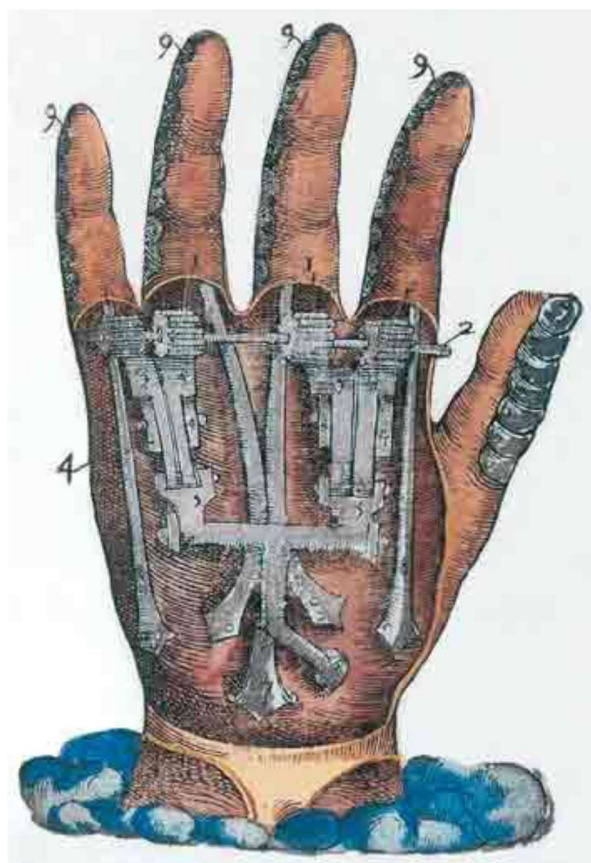
Primele date înregistrate despre proteze ale membrilor superioare, datează de 3 000 de ani. Prima proteza a fost găsită într -o mumie egipteană ; fiind atașată la antebraț de un dispozitiv adaptat la acesta . Ulterior, au fost construite mai multe mâini rezistente folosite pentru a transporta obiecte grele , ca și în cazul Generalului roman Marcus Serghei, în al doilea război punic ( 218-202 î.Hr.) , aceasta purtând prima mână de fier înregistrată (fig.4).



**Fig.4. Prima proteză de fier**

Ulterior, medicul militar francez Ambroise Paré , a dezvoltat primul braț artificial mobil la cot numit " Le petite Lorraine " ca in figura 5 . Mecanismul a fost relativ simplu, degetele putând fi deschise sau închise prin împingere sau tragere , inventând și o pârghie prin care brațul putea efectua flexie sau extensie la nivelul cotului .

Începând cu secolul al XIX-lea, în fabricarea de proteze au început sa fie utilizați polimerii naturali și lemnul. De asemenea, au apărut noi mecanisme pentru elementele de transmitere a forței. Printre cele mai importante inovații în proiectarea de proteze a membrilor superioare, este cea propusa de Peter BEIL, dupa care a apărut mâna cu un deget mobil.



**Fig. 5. La petite Lorraine**



**Fig.6. Braț tip Conte Beauford**

În secolul XX medicul francez Gripoulleau , a realizat diferite accesorii care pot fi folosite ca o unitate de capăt (a se vedea figura 7 ) cum ar fi inele, cârlige și instrumente metalice diferite cu capacitatea de a realiza forța de muncă sau precizia de prindere .

În anul 1912 în Statele Unite , Dorrance a dezvoltat proteza Hook , care a fost o unitate terminal activată prin mișcări a centurii de umăr și care putea fi închisă prin acțiunea unei curele din cauciuc. Cinci ani mai târziu, în Statele Unite, Fischer din Germania a fondat "Asociația americană a producătorilor de proteze", care a produs o revoluție în materialele utilizate pentru realizarea, utilizând pe scară largă fibrele sintetice, polimerii și aliajele de aluminiu .



Fig.7. Accesorii protezei

În 1918, după primul război mondial, a crescut considerabil numărul de amputații și utilizarea protezei rezolva rapid și eficient această problemă, deoarece aceste mâini erau interschimbabile în funcție de diferitele ocupații ale pacientului. Originea protezei mioelectrice este în Germania și se datorează lui Sauerbruch, care a reușit să conecteze mușchii flexori ai antebrațului cu mecanismul unei mâini artificiale din fildeș.

În anul 1946, au fost create primele sisteme de propulsie asistate, care au dat naștere protezelor pneumatice și electrice.

Proteze de control mioelectric au început să apară în anul 1960 în Rusia. Acest tip de proteze funcționează cu diferențe potențiale mici extrase în timpul contracției maselor musculare ale bontului, acestea fiind conduse, amplificate și determinând mișcarea protezei. La început, acest tip de proteză a fost plasată în cazul amputărilor antebrațului, realizând o forță prindere de două kilograme.

În 1962 protezele au fost acoperite cu o substanță spongioasă, realizându-se astfel un aspect sănătos al protezei. Aceasta proteză a fost dezvoltată la Universitatea din Münster, Germania.

Este în curs de dezvoltare o proteză alimentată electromagnetic.

În același timp a apărut și brațul artificial condus de voce. Acesta oferă avantajul că pacientul nu

depinde de mușchi suplimentari sau orice alt tip de asistență. Comenzile sunt transmise printr-un microfon încorporat pentru proteza predeterminată prin mișcări de programare. Interesul pentru proiectarea protezelor a crescut ajungând la nivel mondial în anii '60; centrele de cercetare din Austria și Italia fiind orientate spre dezvoltarea și îmbunătățirea controlului electric al protezei antebrațului. Progresele tehnologice au crescut rapid din acest moment, promovând proteze de extremități superioare care ar putea fi adaptate la aproape orice nivel amputare, continuând inclusiv un umăr, pentru toate opțiunile protetice.

Se are în vedere un număr mare de variabile care ar putea fi grupate sau clasificate după:

- Numărul de dispozitive de acționare.
- Numărul de grade de libertate.
- Transmisie de tip utilizat.
- Tipul de dispozitiv de acționare.

De asemenea, alte variabile care pot fi luate în considerare într-o primă fază sunt: greutatea totală a protezei, materialele din care sunt realizate elementele componente, prețul de vânzare cu amănuntul, tipurile de prindere, puterea maximă de prindere.

### 3 SISTEME PROTETICE

#### 3.1. Proteze cosmetice

Proteza artificială activă are nevoie de: o sursă de energie, un sistem de transmisie al forței rezultate, un sistem de control sau de acțiune și dispozitivul de prindere. Protezele sunt clasificate ținând cont de două aspecte importante, în cazul în care acestea sunt active sau pasive. Protezele cosmetice, sunt proteze pasive, deoarece acoperă doar aspectul estetic, de unde și numele acestora (a se vedea figura 2.9). Pentru protezele cosmetice pot fi utilizate trei materiale: PVC rigid sau flexibil, latex sau silicon. Aceste materiale sunt ușoare, fără a necesita întreținere pentru că au mai puține piese în mișcare decât alte proteze. Latexul este materialul cel mai frecvent utilizat pentru restaurări cosmetice, fiind de obicei un material subțire, care vine în dimensiuni predeterminate numite mănuși pentru a se potrivi peste mâinile protetice.





Fig.8. Proteza cosmetică

### 3.2. Proteze mecanice

Acestea sunt mâini mecanice, dispozitive utilizate cu funcția de deschidere sau închidere voluntară prin intermediul unui ham care este fixat în jurul umerilor și pieptului, brațul fiind controlat de către utilizator (fig. 9). Închiderea sau deschiderea se face numai cu relaxarea musculară respectiv, de un arc și cu o forță de presiune sau de strângere. Aceste elemente sunt acoperite cu o mânășă pentru a da un aspect mai estetic, proteza fiind proiectată pentru un domeniu totuși limitat de obiecte de prindere, în general obiecte mici.

Mărimea protezei și numărul de legături necesare sunt proiectate în funcție de puterea și materialul de fabricație și variază în funcție de nevoile fiecărei persoane.

Utilizatorul trebuie să îndeplinească anumite cerințe, în scopul de a controla proteza:

- forță musculară suficientă;
- domeniul de aplicare suficient de mișcări ;
- lungime suficientă a membrului rezidual.

Datorită designului simplu al acestei opțiuni protetice, nu apar probleme în medii dure, cum ar fi umezeala sau praful. Menținerea acestor proteze este simplă și ieftină, deoarece constă doar în domeniul reparațiilor hamurilor sau de înlocuire și reparare a dispozitivelor terminale. Cu toate acestea prezintă de asemenea, dezavantaje, de exemplu, cablajul de control este foarte incomod pentru utilizator și o gamă foarte limitată de mișcare, precum și spațiu funcțional mic.

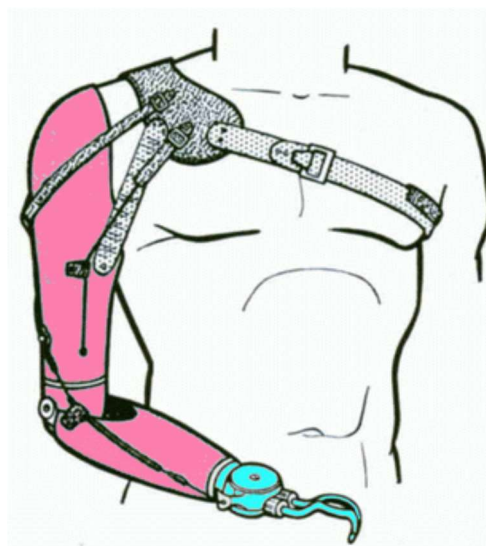


Fig.9. Proteza mecanică

### 3.3 . Proteze electrice

Aceste proteze folosesc motoare electrice în terminalul dispozitivului, încheietura mâinii sau cotului, respectiv o baterie reîncărcabilă ( fig. 10) . Sunt controlate în diverse moduri, fie servo-control sau control gen comutator buton.

Este mai scump și există și alte dezavantaje evidente, cum ar fi grija de a nu se expune la un mediu umed și greutatea protezei.



Fig. 10. Proteza electrică

### 3.4. Proteze pneumatice

La protezele pneumatice energia este transmisă cu pierderi minime, printr-un sistem de conducte. La proteza pneumatică, pot apare probleme privind circulația aerului, administrarea supapelor. Fiecare supapă este comandată în funcție de tipul de amputare. Fiecare supapă de schimbare de configurație pe proteză trebuie să fie asistată și aprobată de fizioterapeut, terapeutul ocupațional și

medic după care trebuie restabilit și personalizat modul de utilizare al protezei.

### 3.5. Proteza mioelectrică

Protezele mioelectrice sunt proteze electrice controlate surse mioelectrice externe, aceste proteze sunt astăzi tipul de membru artificial cu cel mai înalt grad de reabilitare. Configurația de bază este prezentată în figura 11. Au cel mai bun aspect estetic, o rezistență mare, aderență și viteză și pot fi găsite în multe combinații posibile.

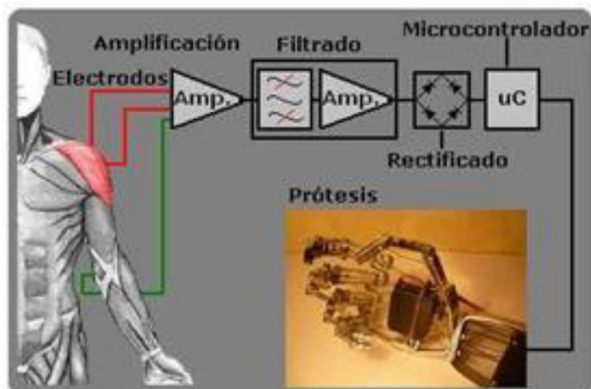


Fig. 11 Proteza mioelectrică

Controlul mioelectric este, probabil, cel mai de întâlnit. Acesta se bazează pe conceptul că ori de câte ori un mușchi se contractă, generează un semnal electric mic de interacțiunea chimică ce are loc în corp. Acest semnal este foarte mic (5 până la 20 microvolți). Acest semnal este de un milion de ori mai mic decât energia electrică necesară pentru a alimenta un bec. Utilizarea senzorilor numiți electrozi care intră în contact cu suprafața pielii permite înregistrarea semnalului electromiografic (EMG), odată înregistrat, acest semnal fiind amplificat și transmis către proteză.

Principiul de protezare constă în folosirea de părți artificiale (proteze) pentru îmbunătățirea funcției vitale și a modului de viață a persoanelor cu deficiențe motorii și nu numai. Trebuie de la început să recunoaștem că, până în prezent, cu toate progresele realizate în domeniile industriale, nu s-a ajuns încă până acolo încât să se poată înlocui natura, printr-o creație tehnică oricât de desăvârșită ar fi ea.

**Biomecanica** studiază mișcările ființelor vii, ținând seama de caracteristicile lor mecanice, precum și de modul în care iau naștere forțele musculare, analizându-le din punct de vedere mecanic și al modalității prin care intră în relație cu forțele exterioare care acționează asupra corpului.

Conținutul biomecanicii poate fi împărțit în:

-**biomecanica generală**, axată asupra legilor obiective, generale ale mișcării umane;

-**biomecanica specializată**, care studiază particularitățile mișcării din diferite domenii ale activității motrice (ex. biomecanica muncii, biomecanica deficiențelor fizice, biomecanica sportului etc.).



În cazul bratului amputat de la umăr, prin noul mod de control al protezelor, se identifică toate fibrele nervoase ce controlează mușchii membrului respectiv. Acestea se implantează, individual, în mușchii pectorali, fiecare nerv controlând o fibră musculară distinctă. Când pacientul dorește să închidă pumnul, creierul acestuia transmite pe nervii restanți și reimplantați comanda la fibrele pectorale desemnate, contractându-le. Proteza citește această activitate musculară printr-o electromiograma (investigație ce înregistrează semnalele electrice de la creier la mușchi), depistând ce nerv a fost atribuit acelei zone a pectoralului, astfel realizând acțiunea dorită. Prototipul poate doar închide și deschide mana, și flexa și extinde cotul. Doctorul Kuiken preconizează că va putea replica majoritatea mișcărilor unui membru amputat, chiar și cele de finețe cum ar fi scrisul.

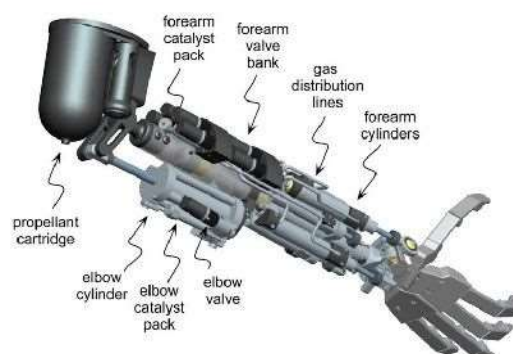


Fig.12. Prototipul Kuiken

## 4. TEHNOLOGII DE REALIZARE A PROTEZELOR

**Știința biomaterialelor** este „știința care se ocupă cu interacțiunile dintre organismele vii și materiale”, iar **biomaterialele** sunt definite ca fiind

„orice substanță sau combinație de substanță, de origine naturală sau sintetică, care poate fi folosită pe o perioadă de timp bine determinată, ca un întreg sau ca o parte componentă a unui sistem care tratează, grăbește, sau înlocuiește un țesut, organ sau o funcție a organismului uman”.

Încercând o clasificare a tehnologiilor cunoscute și utilizate până la începutul anilor '90, putem spune ca există două mari grupe:

**tehnologii de prelucrare prin înlăturare de material**, care pornesc de la o cantitate mare de material brut și înlătura materialul în exces prin folosirea unor metode convenționale (strunjire, frezare, rectificare, etc.), sau prin folosirea de metode neconvenționale (electroeroziune, prelucrarea cu laser, ultrasunete, etc.)

**tehnologii de prelucrare prin redistribuire de material**, care pornesc de la o cantitate corectă de material brut pe care-l redistribuie la forma solicitată prin deformare în stare solidă (forjare, ștanțare, trefilare, extrudare, etc.), sau redistribuire în fază lichidă sau semilichidă (turnare, modelare prin injecție, etc.).

În anii '90 apare o a treia grupă de tehnologii, care se deosebește de primele două, în sensul că folosește un alt tip de principiu pentru materializare unor piese, tehnologii cunoscute sub numele de **Prototipare Rapidă** (*tehnologii de fabricare rapidă a prototipurilor sau Rapid Prototyping – RP*) care realizează piesa prin adăugare de material atât cât este necesar și unde este necesar.

## 5. CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI APLICATIVE ÎN REALIZAREA PROTEZEI

### 5.1. Scanarea 3D



Fig.11. Pregătirea în vederea scanării 3D

S-a urmarit măsurarea (digitizarea 3D) în întregime a geometriei mâinii sănătoase. Se obține geometria mâinii sub forma unei rețele dense de puncte (nor de puncte 3D), distanța dintre două puncte care definesc geometria modelului scanat pronind de la 0.01mm. Scanarea mâinii poate conduce la sute de mii pana la milioane de puncte care îi definesc geometria.

S-au aplicat ambele strategii de transformare descrise mai jos.

### Măsurare fără marcheri de referință

Transformarea măsurătorii va folosi geometria mâinii pentru a se alinia în poziție. Nu s-au putut trage concluzii corecte deoarece orice mică tresărire a fost simțită de scanner.

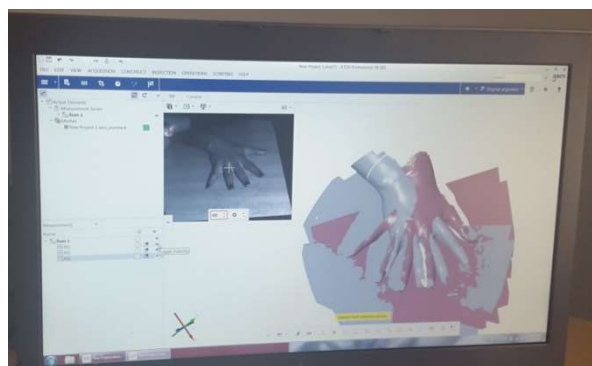


Fig. 12. Masurarea fara marcheri de refeinta

### Măsurare cu marcheri de referință

Funcționează independent de geometria obiectului și asigură deplină siguranță în proces.

Combinarea sistemului stereo-cameră cu marcherii de referință ne permite să verificăm în timp real starea de calibrare calitatea datelor sau mișcarea echipamentului.



Fig.13. Aplicarea marcherilor



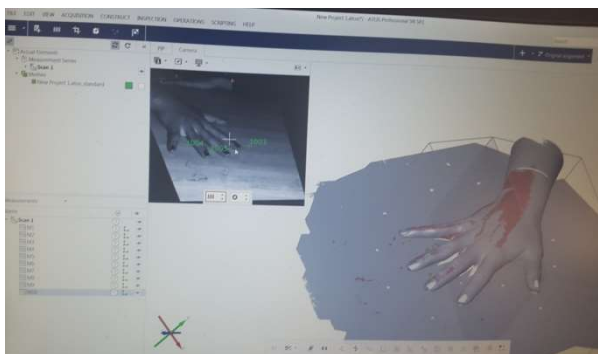


Fig. 14. Mâna scanată

## 5.2 Imprimarea 3D

Imprimarea 3D reprezintă o tehnologie care în ultimul deceniu, a devenit din ce în ce mai accesibilă permițând și stimulând inovația și creșterea eficienței în numeroase domenii prin libertatea de proiectare fără precedent, timp și costuri scăzute.

Pentru putea avea o viziune de ansamblu asupra modului în care a apărut și s-a dezvoltat imprimarea 3D trecând ulterior de la stadiul de tehnologie la fenomen cu implicații nu numai industriale, este necesară întoarcerea în timp, în anii '80. Cele mai vechi tehnologii de imprimare 3D au devenit prima dată vizibile la sfârșitul anilor '90, moment în care au fost numite tehnologii de prototipare rapidă (RP).

În anul 1999 este obținut primul organ construit într-un laborator, un schelet sintetic, acoperit cu propriile celule ale pacienților și realizat cu ajutorul imprimantei 3D, fiind implantat unor tineri care necesitau o mărire a vezicii urinare (fig.15). Tehnologia dezvoltată de oamenii de știință de la Institutul de Medicină Regenerativă Wake Forest a deschis ușa dezvoltării altor strategii de realizare a organelor proiectate, incluzând chiar printarea acestora. Fiind realizate cu celulele pacienților, există un risc foarte mic ca aceste organe să fie respinse de organism.



Fig.15. Imprimare 3D

Datorită printării 3D, medicina a avansat către proiectarea unor părți ale corpului uman din ce în ce mai complexe. Oamenii de știință au creat un rinichi multifuncțional, în miniatură, pentru un animal. Rinichiul era capabil să filtreze sângele și să producă urină diluată (fig.16).



Fig. 16. Primul rinichi printat 3D în anul 2002

Compania Organovo, aduce noi descoperiri în domeniul de bioprinting bazându-se pe tehnologia Dr. Gabor Forgacs, folosind o imprimantă 3D pentru a "printa" 3D primul vas de sânge (fig.17).



Fig.17. De la celule la vase de sânge

Câțiva medici și ingineri din Olanda folosesc o imprimantă 3D făcută de LayerWise pentru a imprima o proteză de maxilar inferior tridimensională, personalizată, care este ulterior implantată unei bătrâne de 83 de ani, suferind de o infecție osoasă cronică. Tehnologia în curs de explorare la momentul respectiv, s-a orientat în anii următori către creșterea de țesut osos nou.



Fig. 18. Prima proteza de maxilar imprimantă 3D (2012)

În anul 2014 s-a printat primul organ - ficat. Firma Organovo, specializată în bio-printare a făcut progrese mari în acest domeniu. Principiul printării a fost cel clasic, strat cu strat, doar că straturile au fost formate din celule. Este foarte complicat procedeul, deoarece un organ trebuie să fie vascularizat, aceasta însemnând combinarea mai multor tipuri de celule. O altă problemă apare privind durata de viață a celulelor care pot muri până ce întregul organ este finalizat. Se pare că acesta este domeniul care în viitorul apropiat va revoluționa medicina.

## 6. CONCLUZII

Se urmărește imprimarea celulelor umane pe diverse modele prin rapid prototyping, pe modele de silicon, celule care pot avea și rol de senzori.

Domeniul noilor tehnologii dezvoltă dispozitive și aplicații care promet să ușureze viața persoanelor cu dizabilități. În cazul de față este vorba despre imprimarea 3D.

Imprimarea tridimensională își face loc în foarte multe domenii de activitate unde realizarea sau recrearea unor forme fizice complexe pune mari probleme. De exemplu în medicină, unde crearea unor membre care să le înlocuiască pe cele lipsă este foarte grea, mai cu seamă când se discută de simetrie.

Imprimarea 3D a apărut în anul 1980, dar abia în 2010 a fost disponibilă și pentru publicul larg.

Privită ca un procedeu modern de fabricație ce promite transformarea viitorului într-un mediu sustenabil și personalizat individual, printarea 3D sau manufacturarea cu aditivi pe baza unui model digital are numeroase aplicații și o serie de avantaje :

### **Reducerea costurilor.**

Costuri de mii de euro pot fi vizibil reduse prin eliminarea unor etape preliminare aparținând procesului de producție în serie, permițând totodată efectuarea mult mai rapidă și ieftină a modificărilor cerute.

### **Optimizarea designului**

Prototipul dorit poate respecta întocmai orice specificații impuse prin designul inițial, permițând modificări rapide în design.

### **Posibilitatea personalizării**

Obiectele printate 3D pot fi ușor personalizate în stadiul de model digital și răspund într-un mod mai multor probleme simultan.

### **Redarea la un grad de complexitate ridicată**

Fiecare strat de material pe care imprimanta îl depune pe suprafața de printare este realizat secvențial, ceea ce permite crearea unor structuri interne complexe care prin modalitățile de modelare tradiționale nu ar fi posibile. Dacă duritatea sau rezistența sunt calitățile dorite pentru prototipul necesar, în procesul de adăugare a materialului, imprimanta 3D poate crea goluri interioare parțiale, umplute cu structuri în fagure, rezultând ca alternativă obiecte deosebit de ușoare și, totodată, rigide.

### **Scăderea timpului de producție**

Modelele produse prin prototipare rapidă pot fi obținute în doar câteva ore sau zile.

### **Economia de material**

Printarea 3D permite producția limitată, la comandă, consumul de material fiind punctual, în funcție de proiect, fără pierderi în exces și adeseori inutile de material.

### **Promovarea principiului sustenabilității**

Procesul de printare 3D este considerat de unele persoane din domeniu drept sfârșitul trendului "învechirii planificate". Produsele pot fi făcute la comandă, în funcție de necesități și ușor de reciclat datorită materialelor versatile.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Baciuc, C. (1974), *Reabilitarea deficiențelor motorii*, Editura Viața medicală, București.
- [2] Chapman, A.E. (2007), *Biomechanical analysis of fundamental human movements*. Human Kinetics Publishers Inc.
- [3] Donatelli, R. (1995), *Biomechanics of the Foot and Ankle*, F. A. Davis&Co Editions; 2nd edition.
- [4] Editor Mohora C.- Echipamente pentru terapii asistive, Editura Printech 2015, ISBN 978-606-23-0505-5, 285 pag., 7 autori.
- [5] Shurr, D., Michael, J. (2000), *Prosthetics and orthotics*, Prentice Hall Editions, New Jersey, 2nd edition.
- [6] Zatsiorsky, V. (1998), *Kinematics of Human Motion*, Human Kinetics Publishers Inc.
- [7] Orteze și proteze, disponibil la: <http://www.ortotech.ro>
- [8] Proteze pentru membrul inferior, disponibil la: <http://www.rosalrtopedic.ro/catalog/produse/proteze/prot-eze-membrul-inferior>
- [9] Orteze, disponibil la: <http://www.inamedicalsport.ro/orteze>