

1. UVOD

U industrijalizovanim državama, tehnološke inovacije su napredovale tako ubrzanim tempom da su prožele skoro sve aspekte naših života. Ovo se posebno odnosi na oblasti medicine i pružanja zdravstvenih usluga. Iako umetnost medicine ima dugu istoriju, evolucija tehnološki zasnovanog sistema zdravstvene zaštite sposobnog da pruži širok spektar efikasnih dijagnostičkih i terapijskih tretmana je relativno nov fenomen. Od posebnog značaja u ovom evolucionom procesu bilo je uspostavljanje savremene bolnice kao centra tehnološki sofisticiranog sistema zdravstvene zaštite.

Pošto je tehnologija imala tako dramatičan uticaj na medicinsku negu, inženjerski profesionalci su postali intimno uključeni u mnoge medicinske poduhvate. Kao rezultat toga, disciplina biomedicinskog inženjeringa se pojavila kao medij za integrisanje dve dinamičke profesije — medicinu i inženjering — i pomogla je u borbi protiv bolesti obezbeđujući alate (kao što su biosenzori, biomaterijali, obrada slika i veštačka inteligencija) koje zdravstveni radnici mogu koristiti za istraživanje, dijagnozu i lečenje.

Dakle, biomedicinski inženjeri su relativno novi članovi tima za pružanje zdravstvene zaštite koji traži nova rešenja za teške probleme sa kojima se susreće moderno društvo.

1.1 EVOLUCIJA SAVREMENOG SISTEMA ZDRAVSTVENE ZAŠTITE

Primitivni ljudi su bolesti smatrali „posetama“ — hirovitim postupcima uvređenih bogova ili duhova. Kao rezultat toga, medicinska praksa je bila domen vračara i travara, vidara. Ipak, čak i kada je magija postala sastavni deo procesa lečenja, kult i umetnost ovih ranih praktičara nikada nisu bili u potpunosti ograničeni na natprirodno. Koristeći svoje prirodne instinkte i učeći iz iskustva, ovi pojedinci su razvili primitivnu nauku zasnovanu na empirijskim zakonima. Na primer, kroz sticanje i kodiranje određenih pouzdanih praksi, napredovala je umetnost lečenja lekovitim biljem, pozicioniranja kostiju, hirurgije i babice. Kao što su primitivni ljudi naučili iz posmatranja da su određene biljke i žitarice dobre za jelo i da se mogu uzgajati, iscelitelji i šamani su posmatrali prirodu određenih bolesti i potom svoja iskustva prenosili na druge generacije.

Dokazi pokazuju da se primitivni iscelitelj aktivno, a ne samo intuitivno, interesovao za kurativne umetnosti, delujući kao hirurg i korisnik oruđa. Na primer, lobanje sa rupama koje su napravili trefineri sakupljene su u raznim delovima Evrope, Azije i Južne Amerike. Ove rupe su izrezane iz kosti kremenim instrumentima da bi se dobio pristup mozgu. Iako se može samo nagađati o svrsi ovih ranih hirurških operacija, čini se da su magija i religiozna verovanja najverovatniji razlozi. Možda je ovaj postupak oslobodio lobanje zlonamerne demone za koje se smatralo da su uzrok ekstremnog bola (kao u slučaju migrene) ili napada pada na zemlju (kao kod epilepsije). Da je ova procedura sprovedena na živim pacijentima, od kojih su neki zaista preživeli, vidi se po zaobljenim ivicama na kosti koje okružuju rupu, što ukazuje da je kost posle operacije ponovo izrasla. Ovi preživeli su takođe postigli poseban status svetosti tako da su, nakon njihove smrti, delovi njihove lobanje korišćeni kao amajlice za odbijanje konvulzivnih napada. Od ovih početaka, medicinska praksa je postala sastavni deo svih ljudskih društava i kultura.

Zanimljivo je primetiti sudbinu nekih od najuspešnijih od ovih ranih praktičara. Egipćani su, na primer, držali Imhotepa, arhitektu prve piramide (3000 pne), u velikom poštovanju kroz vekove,

ne kao graditelja piramida već kao lekara. Imhotepovo ime je označavalo „onaj koji dolazi u miru“ jer je posećivao bolesne da bi im pružio „miran san“. Ovaj rani lekar je tako dobro praktikovao svoju umetnost da je u egipatskoj kulturi bio obožen kao bog lečenja. Egipatska mitologija, kao i primitivna religija, naglašavala je međusobne odnose između natprirodnog i nečijeg zdravlja. Na primer, uzmite u obzir mistični znak Rk, koji i danas krasí sve recepte. Takođe, postoji i mitsko poreklo: legende o Horusovom oku. Čini se da je Horus kao dete izgubio vid nakon što ga je zlobno napao Set, demon zla. Tada je Izida, majka Horusa, pozvala u pomoć Tota, najvažnijeg boga zdravlja, koji je odmah vratio oko i njegove moći. Zbog ove intervencije, Horusovo oko je postalo egipatski simbol božanske zaštite i oporavka, a njegov potomak, Rk, služi kao najvidljivija veza između drevne i moderne medicine.

Koncepti i prakse Imhotepa i medicinski kult koji je negovan bili su propisno zabeleženi na papirusima i pohranjeni u drevnim grobnicama. Jedan svitak (datiran oko 1500. pre nove ere), koji je Džordž Elbers nabavio 1873. godine, sadrži stotine lekova za brojne tegobe, od ujeda krokodila do zatvora. Drugi poznati papirus (datirani oko 1700. pre nove ere), koji je otkrio Edvin Smit 1862. godine, smatra se najvažnijom i najpotpunijom raspravom o hirurgiji cele antike. Ovi spisi ocrtavaju pravilne dijagnoze, prognoze i lečenje u nizu hirurških slučajeva. Ova dva papirusa su svakako među izuzetnim spisima u istoriji medicine.

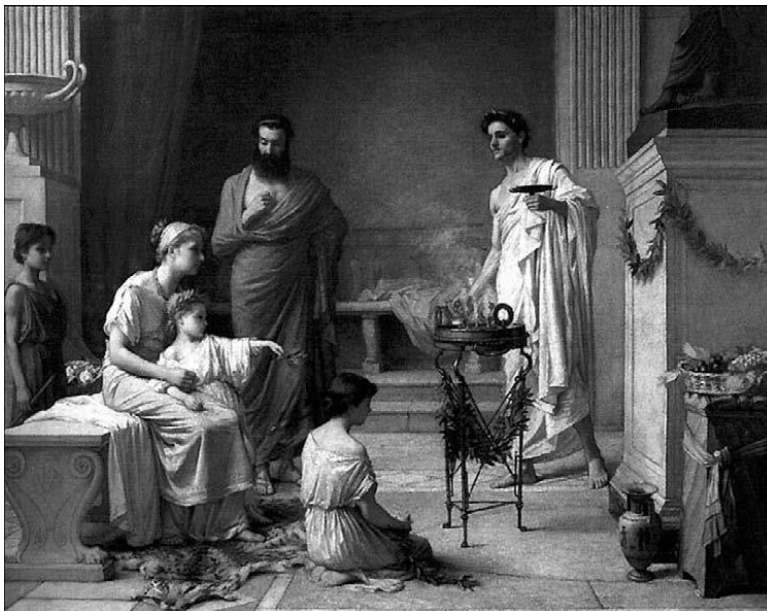
Kako se uticaj starog Egipta širio, Grci su Imhotepa identifikovali sa svojim bogom lečenja: Eskulapom. Prema legendi, bog Apolon je rodio Eskulapija tokom jedne od njegovih mnogih zemaljskih poseta. Očigledno je Apolon bio zabrinut roditelj, i, kao što jeste

U slučaju mnogih modernih roditelja, želeo je da mu sin bude lekar. Učinio je Hirona, kentaura, učiteljem Eskulapija u načinima lečenja (slika 1.1). Hironov učenik je postao toliko vešt kao iscelitelj da je ubrzo nadmašio svog učitelja i održao ljude toliko zdravim da je počeo da smanjuje populaciju Hada. Pluton, bog podzemnog sveta, tako se žestoko žalio na ovakav tok događaja da je Zevs ubio Eskulapija udarom groma i pritom unapredio Eskulapija na Olimp kao boga.

Neizbežno, mitologija se zaplela u istorijske činjenice i nije izvesno da li je Eskulapije u stvari bio zemaljski lekar poput Imhotepa, Egipćanina. Međutim, jedno je jasno: do 1000. godine pre nove ere medicina je već bila veoma poštovana profesija. U Grčkoj, Eskulapije su bile hramovi kulta isceljenja i mogu se smatrati prvim bolnicama (Slika 1.1). U modernim terminima, ovi hramovi su u suštini bili sanatorijumi sa jakim religioznim prizvukom. U njima su pacijenti primani i psihički pripremani, kroz molitvu i žrtvu, da cene prošla dostignuća Eskulapija i njegovih sveštenika lekara. Posle odgovarajućih rituala, bilo im je dozvoljeno da uživaju u „spavanju u hramu“. Tokom noći, „iscelitelji“ su posećivali svoje pacijente, davali medicinske savete bolesnicima koji su bili budni ili tumačili snove onih koji su spavali. Na taj način pacijenti su se uverili da će se izlečiti pridržavajući se propisanog režima ishrane, lekova ili puštanja krvi.

S druge strane, ako bi ostali bolesni, to bi se pripisalo njihovom nedostatku vere. Sa ovim pristupom, pacijenti, a ne tretmani, bili su krivi ako nisu ozdravili. Ova rana upotreba moći sugestije bila je efikasna tada i još uvek je važna u medicinskom lečenju danas. Pojam „zdrav duh, zdravo telo“ je i danas u modi.

Jedan od najslavnijih hramova „isceljenja“ bio je na ostrvu Kos, rodnom mestu Hipokrata, koji se kao mlad upoznao sa lekovitom umetnošću preko svog oca, takođe lekara. Hipokrat nije bio toliko inovativan lekar koliko kolekcionar svih lekova i tehnika koje su postojale do tog vremena. Pošto je lekara posmatrao kao naučnika umesto sveštenika, Hipokrat je takođe uneo suštinski sastojak u medicinu: njen naučni duh. Za njega su dijagnostičko posmatranje i kliničko lečenje počeli da zamenjuju sujeverje. Umesto da okrivljuje bogove za bolest, Hipokrat je učio da je bolest prirodan proces, koji se razvija u logičnim koracima, i da su simptomi reakcije tela na bolest. Samo telo, naglašavao je, poseduje svoja sredstva za oporavak, a funkcija lekara je bila da pomogne ovim prirodnim silama. Hipokrat je tretirao svakog pacijenta kao originalan slučaj koji treba proučavati i dokumentovati.



Slika 1.1. Bolesno dete dovedeno u Eskulapov hram.

<http://vvv.nouveaunet.com/images/art/84.jpg>.

Njegovi pronicljivi opisi bolesti su uzori za lekare i danas. Hipokrat i škola Kosa obučili su mnoge pojedince, koji su potom migrirali u krajeve mediteranskog sveta da praktikuju medicinu i šire filozofiju svog učitelja. Hipokratovo delo i škola i tradicija koja iz njega proističu predstavljaju prvi pravi raskid od magije i misticizma i temelj racionalne medicinske umetnosti. Međutim, kao praktičar, Hipokrat je predstavljao duh medicine, a ne nauku, otelotvorujući dobrog lekara: prijatelja pacijenata i humanog stručnjaka.

Kako je Rimsko carstvo dostiglo svoj zenit i njegov uticaj se proširio na pola sveta, ono je postalo naslednik velikih kultura koje je apsorbovalo, uključujući i njihov medicinski napredak. Iako su sami Rimljani učinili malo da unaprede kliničku medicinu (lečenje pojedinca pacijent), dali su izuzetan doprinos javnom zdravlju. Na primer, imali su dobro organizovanu vojnu medicinsku službu, koja ne samo da je pratila legije u njihovim raznim kampanjama za pružanje „prve pomoći“ na bojnopolju, već je takođe uspostavila „bazne bolnice“ za rekonvalescente na strateškim tačkama širom carstva. Izgradnja kanalizacionih sistema i akvadukta bila su zaista izuzetna rimska dostignuća koja su njihovom carstvu obezbedila medicinske i socijalne prednosti sanitarnog

života. Insistiranje na čistom piću, voda i nepatvorena hrana uticali su na kontrolu i prevenciju epidemija i, koliko god primitivni, omogućili urbano postojanje. Nažalost, bez adekvatnih naučnih saznanja o bolestima, sva zaokupljenost Rimljana javnim zdravljem nije mogla da spreči povremene medicinske katastrofe, posebno kugu, koja je nemilosrdno zadesila njegove građane.

U početku su rimski lekari gledali na grčke lekare i njihovu umetnost sa nemilosrdjem. Međutim, kako su godine prolazile, povoljan utisak koji su ovi Hipokratovi učenici ostavili na ljude postao je široko rasprostranjen. Kao nagradu za njihovu službu narodima Carstva, Julije Cezar (46. pre Hrista) je dodelio rimsko državljanstvo svim grčkim lekarima u svom carstvu. Njihov novi status postao je toliko siguran da kada je Rim te iste godine patio od gladi, ovi grčki praktikanti su bili jedini stranci koji nisu proterani iz grada. Naprotiv, čak su im nuđeni bonusi za ostanak!

Ironično, Galen, koji se smatra najvećim lekarom u istoriji Rima, i sam je bio Grk. Počastvovan od cara jer je izlečio svoju „carsku groznicu“, Galen je postao medicinska slavna ličnost Rima. Bio je arogantan i hvalisavac i, za razliku od Hipokrata, prijavio samo uspešne slučajeve. Ipak, bio je izuzetan lekar. Za Galena je dijagnoza postala lepa umetnost; pored brige o sopstvenim pacijentima, odgovarao je na zahteve za medicinskim savetima iz dalekih krajeva carstva. Bio je toliko marljiv da je napisao više od 300 knjiga anatomske zapazanja, koje su uključivale odabrane istorije bolesti, lekove koje je prepisivao i njegove hvale. Njegova verzija ljudske anatomije je, međutim, bila pogrešna jer se protivio seciranju ljudi i izvukao svoje ljudske analogije isključivo iz proučavanja životinja. Međutim, pošto je tako dominirao medicinskom scenom i kasnije ga je podržala Rimokatolička crkva, Galen je zapravo inhibirao medicinsku istragu. Njegovi medicinski stavovi i spisi postali su i „biblija“ i „zakon“ za pape i stručnjake mračnog doba koje je usledilo.

Sa kolapsom Rimskog carstva, Crkva je postala riznica znanja, posebno svih učenja koja su kroz vekove odlutala u Mediteran. Ovaj korpus informacija, uključujući medicinsko znanje, bio je bukvalno razbacan po manastirima i raspršen među mnogim redovima Crkve.

Učenje rane rimokatoličke crkve i vera u božansko milosrđe učinili su ispitivanje uzroka smrti nepotrebnim, pa čak i nepoželjnim. Članovi Crkve su smatrali da je lečenje pacijenata racionalnim metodama grešno mešanje u volju Božiju. Upotreba lekova označavala je nedostatak vere lekara i pacijenata, a naučna medicina je pala na loš glas. Stoga su skoro hiljadu godina medicinska istraživanja stagnirala. Sve do renesanse 1500-ih godina došlo je do značajnog napretka u nauci medicine. Hipokrat je nekada učio da bolest nije kazna koju su poslali bogovi, već fenomen prirode. Sada, pod Crkvom i novim Bogom, stari pogledi na natprirodno poreklo bolesti su obnovljeni i proglašeni. Pošto je bolest podrazumevala opsednutost demonima, monasi i sveštenici su lečili bolesne molitvom, polaganjem ruku, egzorcizmom, pokajanjem i izlaganjem svetih moštiju – postupcima koje je Crkva zvanično odobrila.

Iako nedovoljno medicinskog znanja, mračnom dobu nije u potpunosti nedostajalo dobročinstva prema bolesnim siromašnima. Hrišćanski lekari su često podjednako lečili i bogate i siromašne, a Crkva je preuzela odgovornost za bolesne. Štaviše, evolucija moderne bolnice zapravo je počela sa pojavom hrišćanstva i smatra se jednim od glavnih doprinosa monaške medicine. Sa usponom Konstantina I, prvog od rimskih careva koji je prihvatio hrišćanstvo, 335. godine nove ere, svi paganski hramovi lečenja su zatvoreni, a bolnice su osnovane u svakom gradu sa katedralom. (Reč

bolnica dolazi od latinskog hospes, što znači „domaćin“ ili „gost“. Isti koren je obezbedio hotel i hostel.) Ove prve bolnice su bile jednostavno kuće u kojima su umorni putnici i bolesni mogli da nađu hranu, smeštaj i negu. Crkva je vodila ove bolnice, a prisutni monasi i monahinje bavili su se veštinom lečenja.

Kako se hrišćanska etika vere, humanitarnosti i dobročinstva širila širom Evrope, a zatim i na Bliski istok tokom krstaških ratova, tako se širio i njen „bolnički sistem“. Međutim, obučeni „lekari“ su i dalje obavljali svoj zanat prvenstveno u domovima svojih pacijenata, i samo su umorni putnici, siromašni i oni koji se smatraju beznadežnim slučajevima nalazili put do bolnica. Uslovi u ovim ranim bolnicama su se veoma razlikovali. Iako je nekolicina bila dobro finansirana i dobro vođena i tretirala svoje pacijente humano, većina su u suštini bile ustanove za staranje kako bi problematične i zarazne ljude držale podalje od šire javnosti. U ovim ustanovama, gužva, prljavština i visok mortalitet i među pacijentima i među njima bili su uobičajeni. Stoga se na bolnicu gledalo kao na instituciju od koje se treba plašiti i od koje je treba izbegavati.

Renesansa i reformacija u petnaestom i šesnaestom veku olabavile su uporište Crke prema bolnici i obavljanju medicinske prakse. Tokom renesanse, ponovo je podstaknuto „istinsko učenje“, želja da se traga za istinskim tajnama prirode, uključujući medicinsko znanje. Proučavanje anatomije čoveka je napredovalo, a seme za dalja proučavanja zasadili su umetnici Mikelandelo, Rafael Direr i, naravno, genije Leonardo da Vinči. Oni su posmatrali ljudsko telo kakvo ono zaista jeste, a ne samo kao tekstualni odlomak iz Galena. Slikari renesanse su prikazivali ljude u bolesti i bolu, skicirali do detalja i pritom demonstrirali neverovatan uvid u rad srca, pluća, mozga i strukture mišića. Takođe su pokušali da prikažu pojedinca i otkriju emocionalne i fizičke kvalitete. U ovoj stimulatívnoj eri, lekari su počeli da pristupaju svojim pacijentima i potrazi za medicinskim znanjem na sličan način. Pojavile su se nove medicinske škole, slične najpoznatijim takvim ustanovama u Salernu, Bolonji, Monpeljeu, Padovi i Oksfordu. Ovi medicinski centri za obuku još jednom su prihvatili Hipokratovu doktrinu da je pacijent čovek, da je bolest prirodan proces i da su zdravorazumske terapije bile prikladne za pomoć telu da pobedi svoju bolest.

Tokom renesanse, osnove su bile detaljnije ispitane i počelo je doba merenja. Godine 1592, kada je Galileo posetio Padovu, u Italiji, držao je predavanja o matematici pred velikom auditorijumom studenata medicine. Izložene su i demonstrirane njegove čuvene teorije i izumi (termoskop i klatno, pored teleskopskog sočiva). Koristeći ove uređaje, jedan od njegovih učenika, Sanktorijus, napravio je uporedne studije ljudske temperature i pulsa. Budući diplomac Padove, Vilijam Harvi, kasnije je primenio Galilejeve zakone kretanja i mehanike na problem cirkulacije krvi. Ova sposobnost merenja količine krvi koja se kreće kroz arterije pomogla je da se odredi funkcija srca.

Galileo je podsticao upotrebu eksperimentisanja i tačnih merenja kao naučnih alata koji bi lekarima mogli da obezbede efikasnu proveru protiv bezobzirnih spekulacija. Kvantifikacija je značila da će teorije biti verifikovane pre nego što budu prihvaćene. Pojedinci uključeni u medicinska istraživanja ugradili su ove nove metode u svoje aktivnosti. Telesna temperatura i puls postali su mere koje se mogu povezati sa drugim simptomima kako bi pomogli lekaru da dijagnostikuje određene bolesti ili bolesti. Istovremeno, razvoj mikroskopa je pojačao ljudski vid i nepoznati svet je došao u fokus. Nažalost, novi naučni uređaji su imali mali uticaj na prosečnog lekara, koji je

nastavio da pušta krv i raspršuje štetne masti. Samo na univerzitetima su se naučne grupe udružile kako bi udružile svoje instrumente i različite talente.

U Engleskoj je medicinska profesija u Henriju VIII pronašla snažnog i saosećajnog pokrovitelja. Pomagao je lekarima u njihovoj borbi protiv zloupotrebe i podržao osnivanje Koledža lekara, najstarije čisto medicinske ustanove u Evropi. Kada je potisnuo manastirski sistem početkom šesnaestog veka, crkvene bolnice su preuzeli gradovi u kojima su se nalazile. Kao posledica toga, nastala je mreža privatnih, neprofitnih, dobrovoljnih bolnica. Doktori i studenti medicine zamenili su sestre medicinske sestre i monahe lekare. Shodno tome, profesionalna sestrinska klasa je postala skoro nepostojeća u ovim javnim ustanovama. Samo među religioznim redovima „sestrinstvo“ je ostalo netaknuto, dodatno otežavajući siromašnu grupu pacijenata zatvorenih unutar zidova javnih bolnica. Ovi uslovi su trajali sve dok se Florens Najtingel nije pojavila na sceni godinama kasnije.

Trebalo je da se desi još jedan dramatičan događaj. Zahtevi koji su postavljani engleskim bolnicama, posebno gradskim bolnicama, postali su ogromni kako je stanovništvo ovih urbanih centara nastavilo da se širi. Bilo je nemoguće da objekti zadovolje potrebe tolikog broja. Stoga su tokom sedamnaestog veka dve glavne urbane bolnice u Londonu — St. Vartolomej i Sent Toma — pokrenuli su politiku primanja i zbrinjavanja samo onih pacijenata koji bi mogli da se izleče. Neizlečivi su ostavljeni da svoju sudbinu dočekaju u drugim ustanovama kao što su azili, zatvori ili ubožnice.

Humanitarni i demokratski pokreti zauzimali su centralno mesto prvenstveno u Francuskoj i američkim kolonijama tokom osamnaestog veka. Konačno je počela ideja o jednakim pravima, a kako se urbanizacija širila, američko društvo se brinulo za dobrobit mnogih svojih članova. Lekari su proširili obim svojih usluga kako bi uključili „nesrećnike“ društva i pomogli da im se olakša patnja zagovarajući moć razuma i predvodeći reformu zatvora, brigu o deci i bolnički pokret. Ironično, kako je bolnica počela da preuzima aktivnu, lekovitu ulogu u medicinskoj nezi u osamnaestom veku, stopa smrtnosti među njenim pacijentima nije opala, već je i dalje bila preterana.

Godine 1788, na primer, stopa smrtnosti među pacijentima u hotelu Dru u Parizu, za koji se smatra da je osnovana u sedmom veku i najstarija bolnica koja postoji danas, iznosila je skoro 25 procenata. Ove bolnice su bile smrtonosne ne samo za pacijente, već i za radnike u njima, čija se sopstvena smrtnost kretala između 6 i 12 procenata godišnje.

U suštini, bolnica je ostala mesto koje treba izbegavati. Pod ovim okolnostima, nije iznenađujuće što su prvi američki kolonisti odlagali ili odlagali izgradnju bolnica. Na primer, prva bolnica u Americi, bolnica u Pensilvaniji, izgrađena je tek 1751. godine, a gradu Bostonu je trebalo više od dve stotine godina da podigne svoju prvu bolnicu, Masačusets General, koja je otvorila svoja vrata za javnost 1821. godine.

Veliki napredak u istoriji moderne medicine došao je sredinom devetnaestog veka sa razvojem sada dobro poznate teorije klica. Teorija klica jednostavno kaže da zaraznu bolest izazivaju mikroorganizmi koji žive u telu. Popularan primer rane demonstracije teorije klica je onaj Džona Snoua i ručke pumpe Broad Street. Kada je kolera dostigla nivo epidemije na prenaseljenim ulicama londonske industrijske ere, lokalni lekar Džon Snou uspeo je da zaustavi širenje bolesti

pomoću mape ulica. Snou je zacrtao slučajeve kolere u gradu, a otkrio je epicentar na lokalnoj pumpi za vodu. Uklanjanjem ručke, a time i pristupom zaraženom vodovodu, Snou je ilustrovao teoriju klica i istovremeno spasao hiljade života. Francuski hemičar Luj Paster je zaslužan za razvoj osnova teorije klica tokom sredine devetnaestog veka.

Sve do devetnaestog veka bolnice nisu mogle tvrditi da imaju koristi za značajan broj pacijenata. Ova era napretka je prvenstveno posledica poboljšane prakse medicinskih sestara koju je negovala Florens Najtingel (Slika 1.2) po povratku u Englesku iz Krimskog rata. Ona je pokazala da su bolničke smrti češće uzrokovane bolničkim uslovima nego bolešću. Tokom druge polovine devetnaestog veka, bila je na vrhuncu svog uticaja, i nekoliko novih bolnica je bilo izgrađeno bilo gde u svetu bez njenog saveta.

Tokom prve polovine devetnaestog veka, Nightingale je primorao medicinsku pomoć da se ponovo fokusira na brigu o pacijentu. Sa entuzijazmom i filozofijom, ona je iznela svoje stavove o sestrinstvu: „Sestrinstvo nas stavlja u najbolje moguće stanje da priroda obnovi i sačuva zdravlje. Umetnost je negovanje bolesnika, molimo označite, a ne negu bolesti.”

Iako su ovi napori bili značajni, bolnice su ostale, sve do dvadesetog veka, ustanove za bolesne siromašne. Tokom 1870-ih, na primer, kada su razmotreni planovi za projektovanu bolnicu Džons Hopkins, smatralo se da je sasvim prikladno izdvojiti 324 dobrotvorna i 24 plaćena kreveta. Ne samo da je bolnička populacija pre početka veka predstavljala uzak deo socioekonomskog spektra, već je predstavljala i samo ograničen broj vrsta bolesti koje su preovladavale u ukupnoj populaciji. Godine 1873, na primer, otprilike polovina američkih bolnica nije primala zarazne bolesti, a mnoge druge nisu prihvatala neizlečive bolesti. Štaviše, u ovom periodu, hirurški prijem u opšte bolnice činio je samo 5 procenata, pri čemu su traume (povrede nastale usled traumatskih iskustava) činile dobar deo ovih slučajeva.



Slika 1.2. Portret Florens Najtingel. <http://ginnger.topcities.com/cards/computer/nurses/>

765k525nightengale.gif.

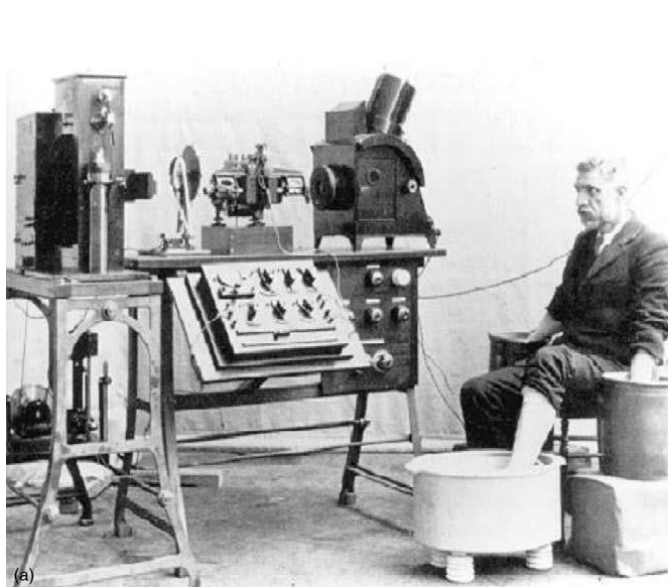
Američke bolnice pre jednog veka bile su prilično jednostavne po tome što njihova organizacija nije zahtevala posebne odredbe za istraživanje ili tehnologiju i zahtevale su samo prostorije za kuvanje i pranje. Pored toga, pošto su lekari koji leče i konsultuju obično bili bez plata, a troškovi nege prilično skromni, veliki deo normalnih operativnih troškova bolnice bio je za hranu, lekove i komunalije. Tek u dvadesetom veku „moderna medicina“ nije postala punoletna u Sjedinjenim Državama. Kao što ćemo videti, tehnologija je igrala značajnu ulogu u njenoj evoluciji.

1.2 SAVREMENI SISTEM ZDRAVSTVENE ZAŠTITE

Moderna medicinska praksa je zapravo počela na prelazu u dvadeseti vek. Pre 1900. medicina je imala malo toga da ponudi prosečnom građaninu, pošto su njeni resursi bili uglavnom lekari, njihovo obrazovanje i njihove male crne torbe. U to vreme lekari su bili u nedostatku, ali iz drugačijih razloga od današnjih. Troškovi su bili minimalni, potražnja mala, a mnoge usluge koje je pružao lekar takođe su se mogle dobiti od iskusnih amatera koji žive u zajednici. Stan pojedinca bio je glavno mesto za lečenje i oporavak, a rođaci i komšije su činili sposobno i voljno medicinsko osoblje.

Babice su rađale bebe, a one bolesti koje nisu izlečene domaćim lekovima ostavljene su da teku svojim kobnim tokom. Tek u dvadesetom veku ogromna eksplozija naučnog znanja i tehnologije dovela je do razvoja američkog zdravstvenog sistema, sa bolnicom kao centralnom tačkom i lekarom specijalistom i medicinskom sestrom kao najvidljivijim operativcima.

U dvadesetom veku, napredak ostvaren u osnovnim naukama (hemija, fiziologija, farmakologija i tako dalje) počeo je da se dešava mnogo brže. Otkrića u fizičkim naukama omogućila su medicinskim istraživačima da naprave ogromne korake napred. Na primer, 1903. godine Vilijam Ajntoven je osmislio prvi elektrokardiograf i izmerio električne promene do kojih je došlo tokom otkucaja srca (slika 1.3). U tom procesu, Ajntoven je pokrenuo novo doba i za kardiovaskularnu medicinu i za tehnike električnog merenja.



Slika 1.3. (a) rani elektrokardiograf i (b) moderna EKG postavka. Napredak računarske tehnologije i elektronike uveliko je pojednostavio i ojačao EKG kao dijagnostički alat.

Od svih novih otkrića koja su se nizala kao međuprodukti u lančanoj reakciji, najznačajnije za kliničku medicinu bio je razvoj rendgenskih zraka. Kada je V. K. Roentgen opisao svoje „nove vrste zraka“, ljudsko telo je bilo otvoreno medicinskom pregledu. U početku su ovi rendgenski zraci korišćeni u dijagnozi preloma kostiju i dislokacija. U Sjedinjenim Državama, rendgenski aparati su doneli ovu „modernu tehnologiju“ u većinu gradskih bolnica. Pri tome su formirana posebna odeljenja radiologije, čiji se uticaj širio tako što je skoro svako odeljenje medicine (hirurgija, ginekologija i tako dalje) napredovalo uz pomoć ovog novog alata. Do 1930-ih, rendgenska vizualizacija praktično svih organskih sistema tela bila je moguća upotrebom soli barijuma i širokog spektra radionepropusnih materijala.

Moć koju je ova tehnološka inovacija dala lekarima bila je ogromna. Rendgen im je omogućio da precizno dijagnostikuju širok spektar bolesti i povreda. Pored toga, budući da je u bolnici, to je pomoglo da se pokrene transformacija bolnice iz pasive kao prijemnik za bolesne siromašne u aktivnu kurativno ustanovu za sve građane američkog društva.

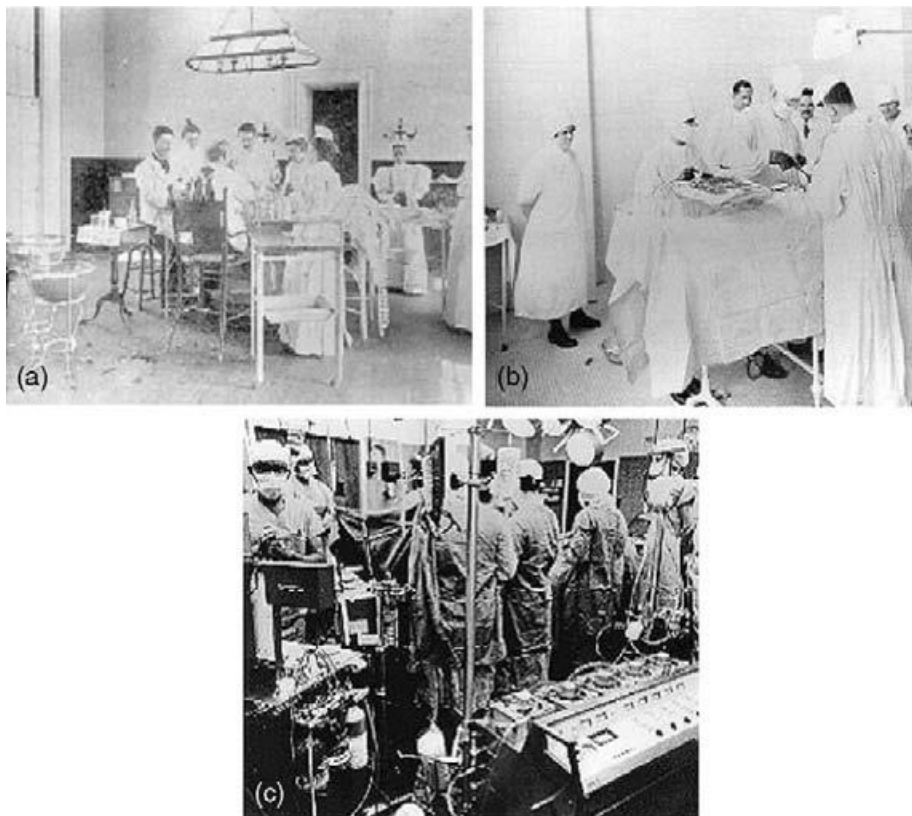
Uvođenje sulfanilamida sredinom 1930-ih i penicilina početkom 1940-ih značajno je smanjilo glavnu opasnost od hospitalizacije: unakrsnu infekciju među pacijentima. Sa ovim novim lekovima u svom arsenalu, hirurzi su mogli da izvode svoje operacije bez previsokog morbiditeta i mortaliteta usled infekcije. Takođe, uprkos velikom napretku ranog dvadesetog veka u oblasti hematologije (uključujući diferencijaciju krvnih grupa i upotrebu natrijum citrata za sprečavanje zgrušavanja), banke krvi nisu u potpunosti razvijene sve do 1930-ih, kada je tehnologija obezbedila adekvatno hlađenje. Do tada su „sveži“ davaoci krvarili, a krv se transfuzovala dok je još bila topla.

Kako je tehnologija u Sjedinjenim Državama cvetala, tako je rastao i prestiž američke medicine. Od 1900. do 1929. dobitnici Nobelove nagrade za fiziologiju ili medicinu dolazili su prvenstveno iz Evrope, bez Amerikanca među njima. U periodu od 1930. do 1944. godine, neposredno pred kraj Drugog svetskog rata, 19 Amerikanaca je dobilo Nobelovu nagradu. U posleratnom periodu (1945–1975) 102 američka naučnika o životu stekla su slične počasti, a od 1975. do 2009. godine taj broj je bio 191. Tako je od 1930. godine ukupno 312 američkih naučnika, uključujući i neke rođene u inostranstvu, radilo istraživanja koja su dovoljno značajan da opravda odlikovanje Nobelove nagrade. Većinu ovih napora omogućila je tehnologija koja je bila dostupna ovim kliničkim naučnicima.

Korišćenje dostupne tehnologije pomoglo je u unapređenju razvoja složenih hirurških procedura. Drinker respirator uveden je 1927. godine, a prvi bajpas srce-pluća urađen je 1939. Četrdesetih godina 20. veka izvršena je kateterizacija srca i angiografija (upotreba kanile uvučene kroz venu ruke i u srce uz ubrizgavanje radionepropusne boje za razvijena je rendgenska vizualizacija plućnih i srčanih sudova i zalistaka). Postale su moguće i tačne dijagnoze urođenih i stečenih srčanih oboljenja (uglavnom poremećaja zalistaka usled reumatske groznice) i počela je nova era kardio-vaskularne hirurgije. Razvoj i primena robotske hirurgije u prvoj deceniji dvadeset prvog veka dodatno su unapredili sposobnosti savremenih hirurga. Neurohirurgija, i periferna i centralna, i

vaskularna hirurgija su zabeležile značajna poboljšanja i mogućnosti sa ovom novom tehnologijom (Slika 1.4).

Još jedno dete ove moderne tehnologije, elektronski mikroskop, ušlo je na medicinsku scenu 1950-ih i obezbedilo značajan napredak u vizuelizaciji relativno malih ćelija. Skeneri tela koji koriste ranu PET (pozitron-emisionu tomografiju) tehnologiju za otkrivanje tumora proizašli su iz iste nauke koja je nevoljno dovela društva u atomsko doba. Ovi „detektivi za tumore“ koristili su radioaktivni materijal i postali su uobičajeni u novoosnovanim odeljenjima nuklearne medicine u svim bolnicama.



Slika 1.4. Promene u operacionoj sali: (a) hirurška scena na prelazu vekova, (b) hirurška scena kasnih 1920-ih i ranih 1930-ih i (c) hirurška scena danas Iz J. D. Bronzino, Tehnologija za negu pacijenata, St. Louis: Mosbi, 1977; Priručnik za biomedicinsko inženjerstvo, CRC Press, 1995; 2000; 2005.

Uticaj ovih i mnogih drugih otkrića bio je dubok. Sistem zdravstvene zaštite koji se prvenstveno sastojao od lekara „konja i kolica” je zauvek nestao, zamenjen je lekarom uz podršku bolnice i usredsređen oko bolnice, kako je medicina počela da se menja u

prilagoditi novu tehnologiju.

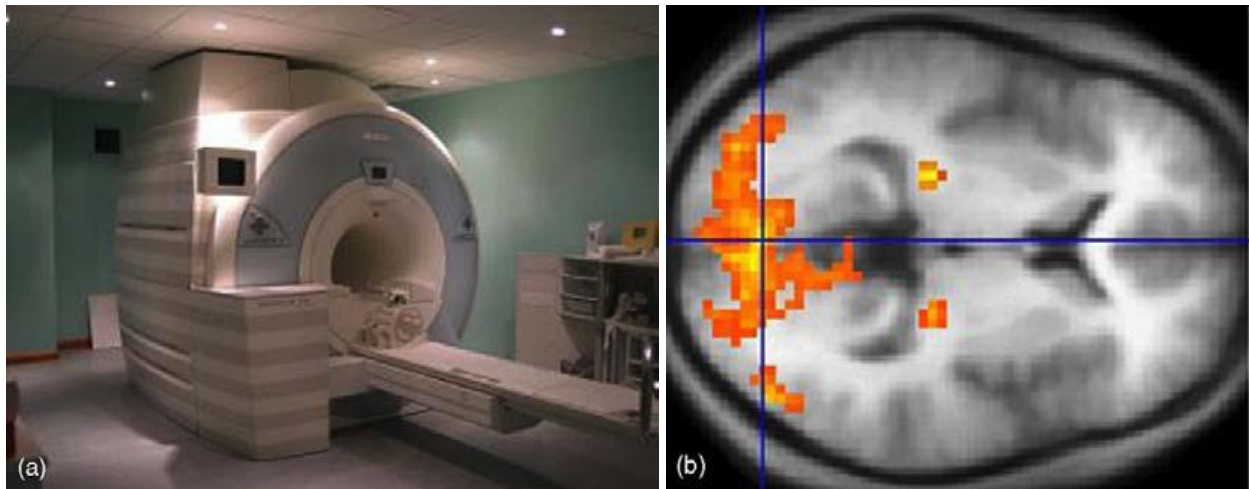
Nakon Drugog svetskog rata, evolucija sveobuhvatne nege se znatno ubrzala. Napredna tehnologija koja je razvijena u potrazi za vojnim ciljevima sada je postala dostupna za miroljubive primene, pri čemu je medicinska profesija imala velike koristi od ovog brzog naleta tehnoloških

„nalaza“. Na primer, oblast elektronike je došla do izražaja. Tehnike praćenja neprijateljskih brodova i aviona, kao i pružanje avijatičarima informacija o visini, brzini vazduha i slično, sada su se uveliko koristile u medicini da bi se pratilo suptilno električno ponašanje osnovne jedinice centralnog nervnog sistema - neurona. — ili da prati kucanje srca pacijenta.

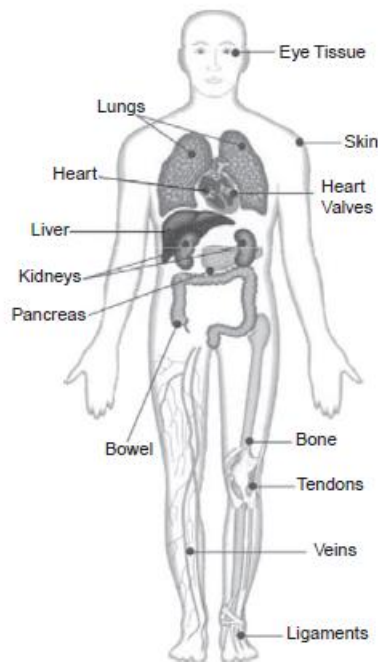
Drugi svetski rat je takođe doneo iskrnu inovacija u oblasti rehabilitacionog inženjerstva i protetike. Sa napretkom u tehnologiji medicinske nege, sve više veterana se vraćalo kući živi - i invalidi. Ovo povećanje potreba, u kombinaciji sa porastom razvoja novih materijala u kasnim 1940-im, pomoglo je rastu pomoćnih tehnologija tokom ere posle Drugog svetskog rata. Nauka i tehnologija su preskočile jedna drugu kroz zabeleženu istoriju. Svako ko je tražio uzročno-posledičnu vezu između to dvoje, bio je podjednako verovatan da će tehnologiju naći kao uzrok, a nauku za posledicu, pri čemu važi i obrnuto. Kao što je oružje dovelo do balistike, a parna mašina transformisana u termodinamiku, tako je motorni let doveo do aerodinamike. Međutim, sa pojavom elektronike ova uzročna veza je obrnuta; naučno istraživanje se sistematski eksploatiše u potrazi za tehničkim napretkom.

Baš kao što je Drugi svetski rat izazvao napredak u sveobuhvatnoj nezi, 1960-te su uživale u dramatičnoj revoluciji elektronike, komplimentima prvog sletanja na Mesec. Ono što se smatralo naučnom fantastikom 1930-ih i 1940-ih postalo je stvarnost. Uređaji su se stalno menjali kako bi ugradili najnovije inovacije, koje su u mnogim slučajevima zastarele u vrlo kratkom vremenskom periodu. Telemetrijski uređaji koji se koriste za praćenje aktivnosti srca pacijenta oslobodili su i lekara i pacijenta od žica koje su ih prethodno ograničavale na četiri zida bolničke sobe. Kompjuteri, slični onima koji su kontrolisali planove leta kapsula Apolo, sada potpuno preplavljaju naše društvo.

Od 1970-ih, medicinski istraživači su stavili ove elektronske mozgove da rade obavljajući složene proračune, vodeći evidenciju (preko veštačke inteligencije), pa čak i kontrolu samih instrumenata koji održavaju život. Razvoj novih medicinskih tehnika snimanja kao što su kompjuterizovana tomografija (CT) i slikanje magnetnom rezonancom (MRI) u potpunosti je zavisio od kompjuterske tehnologije koja neprestano napreduje. Novi razvoji imidžinga uključuju funkcionalnu magnetnu rezonancu (slika 1.5), alat koji može da ilustruje aktivna neuronska područja kvantifikacijom potrošnje kiseonika i protoka krvi u mozgu. Citati i tehnološka otkrića su toliko bezbrojni da ih je nemoguće sve pomenuti. Operacija „rezervnih delova“ je sada rutinska. Sa prvom uspešnom transplantacijom bubrega 1954. godine, koncept „veštačkih organa“ je postao prihvaćen i zvanično u modi u medicinskoj areni (slika 1.6). Razvijena je tehnologija za obezbeđivanje protetskih uređaja, kao što su veštački srčani zalisci i veštački krvni sudovi. Čak je počeo i program veštačkog srca za razvoj zamene za defektno ili bolesno ljudsko srce.



Slika 1.5. (a) Moderna fMRI medicinska ustanova za snimanje i (b) fMRI skenirana slika. <http://neurophilosophi.wordpress.com>.



Slika 1.6. Danas obavljene transplantacije. http://vvv.transplant.bc.ca/images/vhat_organs.gif.

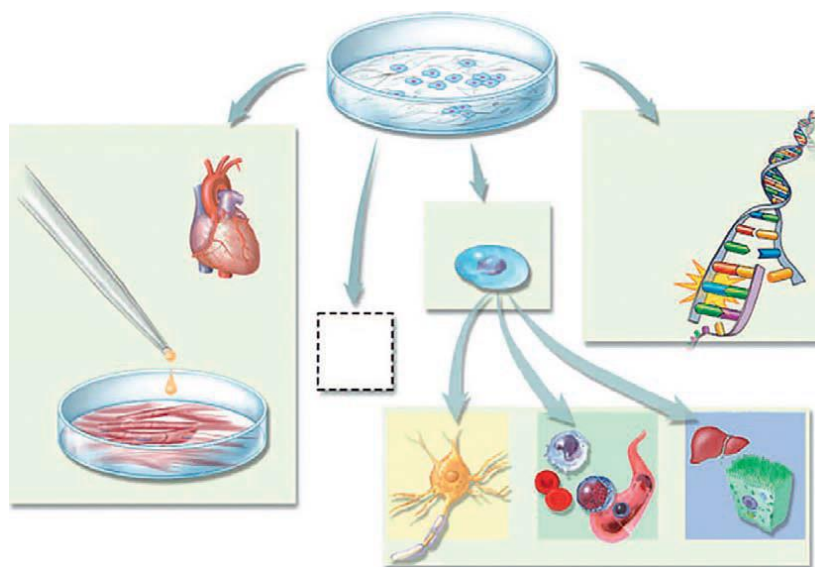
Sa neuralnom funkcijom, elastičnošću i neverovatnom mehaničkom snagom i izdržljivošću ljudskog srca, potpuna zamenska protetika bila je samo marginalno uspešna. Međutim, uređaji za pomoć u levoj komori (LVAD) su bili uspešni kao zamena za „radni konj“ regiona srca i popularna su privremena opcija za one koji čekaju na punu transplantaciju srca. Budući pravci za rešenja srčane insuficijencije će najverovatnije uključivati više tretmana na tkivnom i ćelijskom nivou, za razliku od mikromehaničkih sistema. Ove tehnološke inovacije su u velikoj meri promenile hiruršku organizaciju i korišćenje, čak i dodatno unapređujući radikalnu evoluciju koju su bolnice

prošle od niskotehnoloških ustanova pre samo 100 godina do modernih naprednih medicinskih centara sutrašnjice.

Poslednjih godina tehnologija je udarila medicinu kao grom. Projekat Ljudski genom bio je možda najistaknutiji naučni i tehnološki poduhvat 1990-ih. Neki od inženjerskih proizvoda od vitalnog značaja za napore uključivali su automatske sekvencere, robotske uređaje za rukovanje tečnostima i softver za bazu podataka i sastavljanje sekvenci (vidi sliku 1.7). Kao rezultat toga, došlo je do velike tranzicije, pomerajući biomedicinski inženjering da se fokusira na ćelijski i molekularni nivo, a ne samo na nivo sistema organa. Sa uspehom „projekta genoma“, završenog 2003. godine nakon 13-godišnjeg poduhvata, otvorili su se novi vidiki. Istraživanje matičnih ćelija naglašava ovaj fokus na hemijskom i molekularnom nivou i bilo je na čelu kontroverznih naučnih istraživanja od svog nastanka. Dok mnoštvo mogućnosti prkosi mašti, moralna pitanja koja prate matične ćelije dobijaju podjednaku pažnju poslednjih godina.

Štaviše, napredak u nanotehnologiji, inženjerstvu tkiva i veštačkim organima su jasni pokazatelji da će naučna fantastika nastaviti da postaje stvarnost. Međutim, društvene i ekonomske posledice ovog ogromnog izliva informacija i inovacija moraju se u potpunosti razumeti ako se ova tehnologija želi efikasno i efikasno eksploatisati.

Dok se zagleda u kristalnu kuglu, tehnologija nudi veliki potencijal za uticaj na praksu zdravstvene zaštite (Slika 1.8). Može da pruži zdravstvenu zaštitu pojedincima u udaljenim ruralnim oblastima putem zdravstvenih klinika zatvorenog kruga televizije sa kompletnim komunikacionim vezama sa regionalnim zdravstvenim centrom. Razvoj višefaznih sistema skrininga može obezbediti preventivnu medicinu za ogromnu većinu naše populacije i ograničiti prijem u bolnicu na one kojima su potrebni dijagnostički i tretmanski kapaciteti smešteni tamo. Sa stvaranjem centralnog sistema medicinske dokumentacije, svako ko se preseli ili razboli van kuće može lako i brzo da stavi na raspolaganje evidenciju lekaru koji prisustvuje. Ovo su samo neke od mogućnosti koje ilustruju potencijal tehnologije u stvaranju vrste sistema medicinske nege koji će zaista biti pristupačan, visokog kvaliteta i po razumnoj ceni za sve.



Slika 1.7. Istraživanje matičnih ćelija – moguće primene. <http://stemcells.nih.gov/info/media/promise.htm>.



Slika 1.8. Robotska hirurgija — novo oruđe u arsenalu lekara. <http://librari.thinkkuest.org/03oct/00760/steve.jpg>.

1.3 ŠTA JE BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO?

Mnogi problemi sa kojima se zdravstveni profesionalci suočavaju danas su od izuzetnog značaja za inženjera jer uključuju fundamentalne aspekte analize uređaja i sistema, dizajna i praktične primene — a sve to leži u srcu procesa koji su fundamentalni za inženjersku praksu. Ovi medicinski relevantni problemi dizajna mogu se kretati od veoma složenih velikih konstrukcija, kao što su bolnički informacioni sistemi, do stvaranja relativno malih i „jednostavnih“ uređaja, kao što su elektrode za snimanje i pretvarači koji se koriste za praćenje aktivnosti specifičnih fizioloških procesa.

Zdravstveni sistem, dakle, obuhvata mnoge probleme koji predstavljaju izazove za pojedine članove inženjerske profesije, zvane biomedicinski inženjeri. Pošto biomedicinsko inženjerstvo uključuje primenu koncepata, znanja i pristupa praktično svih inženjerskih disciplina (npr. elektrotehničkog, mašinskog i hemijskog inženjerstva) za rešavanje specifičnih problema u vezi sa zdravstvenom zaštitom, mogućnosti za interakciju između inženjera i zdravstvenih radnika su brojni i raznovrsni. Iako mnogi smatraju da je ono što je uključeno u oblast biomedicinskog inženjerstva sasvim jasno, mnoga oprečna mišljenja o ovoj oblasti mogu se pratiti do neslaganja oko njene definicije. Na primer, razmotrite termine biomedicinski inženjering, bioinženjering, biološki inženjering i klinički (ili medicinski) inženjer, koji su definisani u Direktorijumu za obrazovanje o bioinženjeringu. Dok je Pacela definisao bioinženjering kao široki krovni termin koji se koristi za opisivanje čitave ove oblasti, bioinženjering se obično definiše kao aktivnost orijentisana na bazično istraživanje usko povezana sa biotehnologijom i genetskim inženjeringom — to jest, modifikacija životinjskih ili biljnih ćelija ili delova ćelija radi poboljšanja biljke ili životinje ili za razvoj novih mikroorganizama za korisne ciljeve. U prehrambenoj industriji, na primer, to je značilo poboljšanje sojeva kvasca za fermentaciju. U poljoprivredi, bioinženjeri se mogu baviti poboljšanjem prinosa useva pomoću postrojenja za tretman sa organizmima kako bi

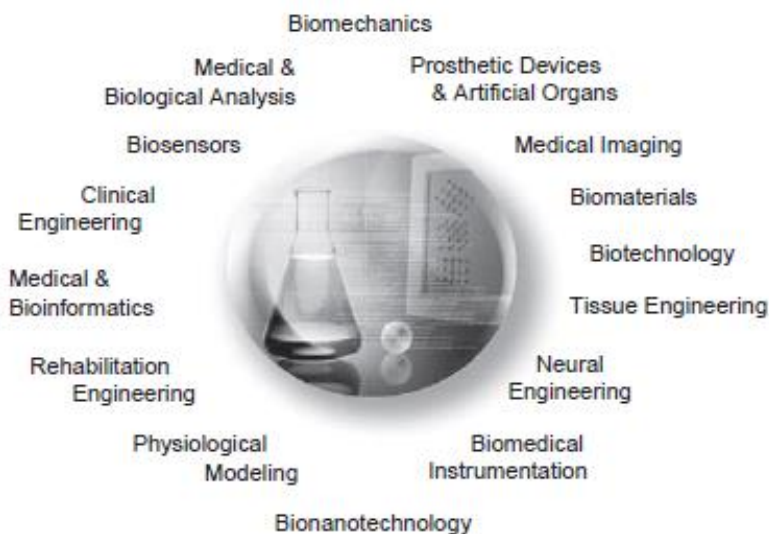
se smanjila šteta od mraza. Jasno je da će bioinženjeri u budućnosti imati ogroman uticaj na kvalitet ljudskog života. Puni potencijal ove specijalnosti je teško zamisliti.

Tipične aktivnosti uključuju sledeće:

- Razvoj poboljšanih vrsta biljaka i životinja za proizvodnju hrane
- Pronalazak novih medicinskih dijagnostičkih testova za bolesti
- Proizvodnja sintetičkih vakcina iz kloniranih ćelija
- Bioekološki inženjering za zaštitu ljudi, životinja i biljaka od toksičnih materija i zagađivači
- Proučavanje interakcija protein-površina
- Modeliranje kinetike rasta ćelija kvasca i hibridoma
- Istraživanje tehnologije imobilizovanih enzima
- Razvoj terapijskih proteina i monoklonskih antitela.

Čini se da izraz biomedicinsko inženjerstvo ima najsveobuhvatnije značenje. Biomedicinski inženjeri primenjuju električne, hemijske, optičke, mehaničke i druge inženjerske principe da razumeju, modifikuju ili kontrolišu biološke (tj. ljudske i životinjske) sisteme. Kada biomedicinski inženjer radi u bolnici ili klinici, on ili ona se pravilnije nazivaju kliničkim inženjerom. Međutim, ova teorijska razlika se ne primećuje uvek u praksi, pošto se mnogi profesionalci koji danas rade u američkim bolnicama i dalje nazivaju biomedicinskim inženjerima.

Značajna je širina delatnosti biomedicinskih inženjera. Ova oblast se značajno pomerila od primarnog bavljenja razvojem medicinskih uređaja 1950-ih i 1960-ih godina do uključivanja šireg niza aktivnosti. Kao što je prikazano na slici 1.9, oblast biomedicinskog inženjeringa sada uključuje mnoge nove oblasti karijere:



Slika 1.9. Svet biomedicinskog inženjerstva.

- Primena analize inženjerskog sistema (fiziološko modeliranje, simulacija i kontrola na biološke probleme)
- Detekcija, merenje i praćenje fizioloških signala (tj. biosenzora i biomedicinskih instrumenata)
- Dijagnostička interpretacija bioelektričnih podataka putem tehnika obrade signala
- Terapijske i rehabilitacione procedure i uređaji (rehabilitacioni inženjering)
- Uređaji za zamenu ili povećanje telesnih funkcija (veštački organi)
- Kompjuterska analiza podataka o pacijentima i donošenje kliničkih odluka (tj. medicinska informatika i veštačka inteligencija)
- Medicinsko snimanje—to jest, grafički prikaz anatomskih detalja ili fiziološke funkcije
- Stvaranje novih bioloških proizvoda (tj. biotehnologija i inženjerstvo tkiva)

Tipične aktivnosti biomedicinskih inženjera uključuju sledeće:

- Istraživanje novih materijala za implantirane veštačke organe
- Razvoj novih dijagnostičkih instrumenata za analizu krvi
- Pisanje softvera za analizu podataka medicinskih istraživanja
- Analiza opasnosti od medicinskih uređaja u pogledu bezbednosti i efikasnosti
- Razvoj novih dijagnostičkih sistema za snimanje
- Dizajn telemetrijskih sistema za praćenje pacijenata
- Dizajn biomedicinskih senzora
- Razvoj ekspertskih sistema za dijagnostiku i lečenje bolesti
- Projektovanje sistema kontrole zatvorene petlje za davanje lekova
- Modeliranje fizioloških sistema ljudskog tela
- Dizajn instrumentacije za medicinu sporta
- Razvoj novih stomatoloških materijala
- Dizajn komunikacionih pomagala za osobe sa invaliditetom
- Studija dinamike plućne tečnosti
- Proučavanje biomehanike ljudskog tela
- Razvoj materijala koji će se koristiti kao zamena za ljudsku kožu.

Prethodna lista nije namenjena da bude sveobuhvatna. Mnoge druge aplikacije koriste talente i veštine biomedicinskog inženjera. U stvari, spisak aktivnosti biomedicinskih inženjera zavisi od medicinskog okruženja u kojem rade. Ovo posebno važi za kliničke inženjere—biomedicinske

inženjere zaposlene u bolnicama ili kliničkim ustanovama. Klinički inženjeri su u suštini odgovorni za sve visokotehnološke instrumente i sisteme koji se koriste u bolnicama danas, obuku medicinskog osoblja o bezbednosti opreme i dizajn, odabir i upotrebu tehnologije za pružanje bezbedne i efikasne zdravstvene zaštite.

Inženjeri su prvi put podstaknuti da uđu na kliničku scenu tokom kasnih 1960-ih kao odgovor na zabrinutost za električnu bezbednost bolničkih pacijenata. Ovo strahovanje od bezbednosti dostiglo je svoj vrhunac kada su potrošački aktivisti, pre svega Ralf Nejder, tvrdili: „U najmanju ruku, 1.200 Amerikanaca godišnje bude pogođeno strujom tokom rutinskih dijagnostičkih i terapijskih procedura u bolnicama. Ova zabrinutost je prvenstveno bila zasnovana na pretpostavci da bi kateterizovani pacijenti sa provodnim putem niskog otpora izvan tela u krvne sudove u blizini srca mogli biti pogođeni strujnim udarom razlikama napona znatno ispod normalnog nivoa senzacije. Uprkos nedostatku statističkih dokaza koji bi potkrepili ove tvrdnje, ovaj protest je poslužio za podizanje nivoa svesti zdravstvenih radnika u pogledu bezbedne upotrebe medicinskih sredstava.

Kao odgovor na ovu zabrinutost, nova industrija — bolnička električna bezbednost — nastala je skoro preko noći. Organizacije kao što je Nacionalno udruženje za zaštitu od požara (NFPA) napisale su standarde koji se odnose na električnu bezbednost posebno za bolnice. Proizvođači električnih sigurnosnih analizatora i konsultanti za bezbednost opreme postali su željni da služe potrebama različitih bolnica koje su želele da obezbede „bezbednosno rešenje“ i nekih kompanija, posebno onih specijalizovanih za sisteme za distribuciju električne energije (pre svega izolacioni transformatori). Da bi ublažila ove strahove, Zajednička komisija za akreditaciju zdravstvenih organizacija (tada poznata kao Zajednička komisija za akreditaciju bolnica) obratila se NFPA kodovima kao standardu za električnu bezbednost i dalje precizirala da bolnice moraju da pregledaju svu opremu koja se koristi na ili u blizini pacijenta radi električne bezbednosti najmanje svakih šest meseci. Da bi ispunili ovaj novi zahtev, bolnički administratori su razmotrili brojne opcije, uključujući (1) plaćanje proizvođačima medicinskih uređaja da izvrše ove inspekcije električne bezbednosti, (2) ugovaranje usluga organizacija za zajedničke usluge ili (3) pružanje ovih usluga sa interno osoblje. Kada su se suočile sa ovom odlukom, većina velikih bolnica odlučila se za internu uslugu i stvorila čitava odeljenja kako bi pružila tehnološku podršku neophodnu za rešavanje ovih problema vezanih za električnu bezbednost.

Kao rezultat toga, rođena je nova inženjerska disciplina — kliničko inženjerstvo. Mnoge bolnice su osnovale centralizovana odeljenja kliničkog inženjerstva. Međutim, kada su ova odeljenja uspostavljena, ubrzo je postalo očigledno da kvarovi u električnoj bezbednosti predstavljaju samo mali deo ukupnog problema koji predstavlja prisustvo medicinske opreme u kliničkom okruženju. U to vreme, ova oprema nije bila u potpunosti shvaćena niti pravilno održavana. Jednostavni vizuelni pregledi često su otkrili polomljene dugmad, izlizane žice, pa čak i dokaze o prolivanju tečnosti. Mnogi uređaji nisu radili u skladu sa specifikacijama proizvođača i nisu održavani u skladu sa preporukama proizvođača.

Ukratko, problemi sa električnom sigurnošću bili su samo vrh ledenog brega. Do sredine 1970-ih, potpune inspekcije performansi pre i posle upotrebe opreme postale su norma, a razvijene su

razumne procedure inspekcije. U tom procesu, ovi pioniri kliničkog inženjerstva počeli su da igraju značajniju ulogu u bolnici. Kao novi članovi bolničkog tima, uradili su sledeće:

- Aktivno se uključio u razvoj isplativih pristupa za korišćenje medicinske tehnologije
- Davali su bolničkim administratorima savete u vezi sa kupovinom medicinske opreme na osnovu njihove sposobnosti da ispune specifične tehničke specifikacije
- Počeo da koristi savremene naučne metode i da radi sa organizacijama koje pišu standarde
- Uključuje se u obuku zdravstvenog osoblja u vezi sa bezbednom i efikasnom upotrebom medicinske opreme

Zatim, tokom 1970-ih i 1980-ih, došlo je do velike ekspanzije kliničkog inženjerstva, prvenstveno zbog sledećih događaja:

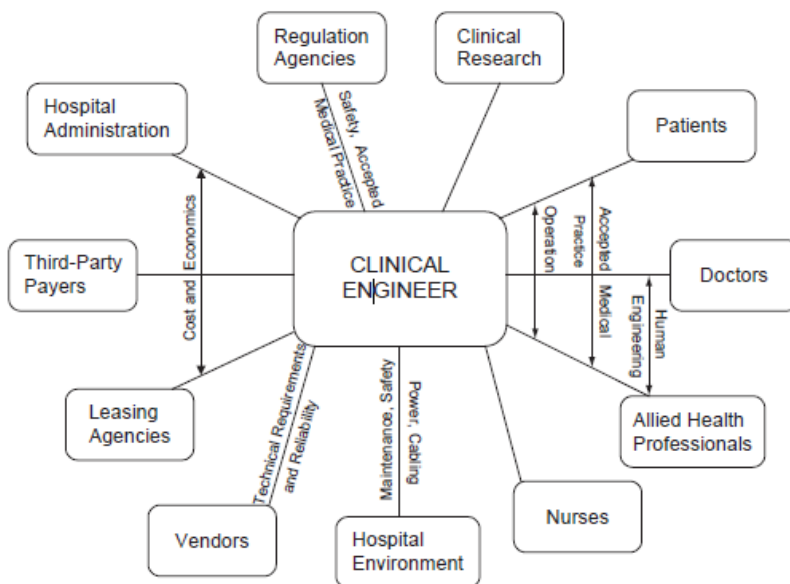
- Uprava za veterane (VA), uverena da su klinički inženjeri od vitalnog značaja za celokupno funkcionisanje bolničkog sistema VA, podelila je zemlju na okruge biomedicinskog inženjeringa, sa glavnim biomedicinskim inženjerom koji je nadgledao sve inženjerske aktivnosti u bolnicama u tom okrugu.
- Širom Sjedinjenih Država, odeljenja kliničkog inženjerstva su osnovana u većini velikih medicinskih centara i bolnica i u nekim manjim kliničkim ustanovama sa najmanje tri stotine kreveta.
- Zdravstvenim radnicima — lekarima i medicinskim sestrama — bila je potrebna pomoć u korišćenju postojeće tehnologije i uvođenju novih inovacija.
- Sertifikacija kliničkih inženjera postala je stvarnost kako bi se osigurala kontinuirana kompetentnost kliničkih inženjera.

Tokom 1990-ih, evaluacija kliničkog inženjerstva kao profesije nastavljena je osnivanjem Američkog koledža kliničkog inženjerstva (ACCE) i Odeljenja za kliničko inženjerstvo u okviru Međunarodne federacije medicinskog i biološkog inženjerstva (IFMBE). Klinički inženjeri danas pružaju opsežne inženjerske usluge za kliničko osoblje i služe kao značajan resurs za celu bolnicu (Slika 1.10). Posедуjući dubinsko znanje o dostupnim internim tehnološkim mogućnostima, kao i tehničkim resursima dostupnim od spoljnih firmi, savremeni klinički inženjer omogućava bolnici da efikasno i efikasno koristi većinu, ako ne i sve svoje tehnološke resurse.

Biomedicinsko inženjerstvo je stoga interdisciplinarna grana inženjerstva koja se u velikoj meri zasniva na inženjerstvu i naukama o životu. Ona se kreće od teorijskih, neeksperimentalnih poduhvata do najsavremenijih aplikacija. Može da obuhvati istraživanje, razvoj, implementaciju i rad. Shodno tome, kao i sama medicinska praksa, malo je verovatno da ijedna osoba može steći stručnost koja obuhvata čitavu oblast. Kao rezultat toga, došlo je do eksplozije specijaliteta biomedicinskog inženjeringa koji pokrivaju ovo široko polje. Ipak, zbog interdisciplinarnosti prirode ove aktivnosti, postoji značajna međugra i preklapanje interesovanja i napora između njih. Na primer, biomedicinski inženjeri angažovani na razvoju biosenzora mogu da komuniciraju sa onima

koji su zainteresovani za protetske uređaje kako bi razvili sredstva za otkrivanje i korišćenje istog bioelektričnog signala za napajanje protetskog uređaja.

Oni koji se bave automatizacijom kliničko-hemijske laboratorije mogu saradivati sa onima koji razvijaju ekspertske sisteme kako bi pomogli kliničarima u donošenju kliničkih odluka na osnovu specifičnih laboratorijskih podataka. Mogućnosti su beskonačne. Možda još veća korist od korišćenja biomedicinskih inženjera leži u potencijalu za implementaciju postojećih tehnologija za identifikaciju i rešavanje problema u našem sadašnjem sistemu zdravstvene zaštite. Shodno tome, oblast biomedicinskog inženjeringa nudi nadu u kontinuiranoj borbi za pružanje visokokvalitetnih zdravstvenih usluga po razumnoj ceni. Ako su pravilno usmereni ka rešavanju problema u vezi sa preventivnim medicinskim pristupima, uslugama ambulantne nege i slično, biomedicinski inženjeri mogu da obezbede alate i tehnike kako bi naš zdravstveni sistem učinili efikasnijim i efikasnijim.



Slika 1.10. Opseg interakcija koje klinički inženjer može biti potreban da bi se uključio u bolničko okruženje.

1.4 ULOGE BIOMEDICINSKIH INŽENJERA

U svom najširem smislu, biomedicinski inženjering uključuje obuku u suštini tri vrste pojedinaca: kliničkog inženjera u zdravstvu, biomedicinskog inženjera dizajna za industriju i naučnika istraživača. Trenutno se takođe može razlikovati tri specifične uloge koje ovi biomedicinski inženjeri mogu igrati. Svaki je dovoljno različit da zaslužuje poseban opis. Prvi tip, najčešći, mogao bi se nazvati „rešavač problema“. Ovaj biomedicinski inženjer (najverovatnije klinički inženjer ili inženjer biomedicinskog dizajna) održava tradicionalan odnos usluga sa naučnicima koji stvaraju problem koji se može rešiti primenom specifične stručnosti inženjera. Međutim, da bi ovaj proces rešavanja problema bio efikasan i uspešan, mora postojati izvesno poznavanje jezika drugih i gotova razmena informacija. Biomedicinski inženjeri moraju da razumeju biološku situaciju da bi primenili svoje rasuđivanje i doprineli svojim znanjem rešenju datog problema, kao

i da brane svoje metode u terminima koje naučnik o životu može da razume. Ako nisu u stanju da urade ove stvari, ne zaslužuju naziv „biomedicinski“.

Drugi tip, koji je manje uobičajen, mogao bi se nazvati „tehnološki preduzetnik“ (najverovatnije biomedicinski inženjer dizajna u industriji). Ovaj pojedinac pretpostavlja da je jaz između tehnološkog obrazovanja naučnika ili lekara života i sadašnjih tehnoloških sposobnosti postao toliki da naučnik života ne može da predstavlja problem koji će uključiti primenu postojeće tehnologije. Stoga, tehnološki preduzetnici ispituju neki deo biološkog ili medicinskog fronta i identifikuju oblasti u kojima bi napredna tehnologija mogla biti od prednosti. Dakle, oni postavljaju sopstveni problem, a zatim nastavljaju da pružaju rešenje, prvo konceptualno, a zatim u obliku hardvera ili softvera. Konačno, ovi pojedinci moraju da ubede medicinsku zajednicu u to

oni mogu pružiti koristan alat jer, suprotno situaciji u kojoj se nalaze rešavači problema, aktivnost preduzetnika je u najboljem slučaju špekulativna i nema spremnog kupca za rezultate. Međutim, ako je poduhvat uspešan, bilo naučno ili komercijalno, onda je napredak napravljen mnogo ranije nego što bi bio kroz konvencionalni aranžman. Zbog prirode svog posla, tehnološki preduzetnici treba da imaju veliko inženjersko i medicinsko znanje, kao i iskustvo u brojnim medicinskim sistemima.

Treći tip biomedicinskog inženjera — „inženjer-naučnik“ (najverovatnije se nalazi u akademskim institucijama i industrijskim istraživačkim laboratorijama) — prvenstveno je zainteresovan za primenu inženjerskih koncepata i tehnika na istraživanje i istraživanje bioloških procesa.

Najmoćnije sredstvo kojim raspolažu je izgradnja odgovarajućeg fizičkog ili matematičkog modela specifičnog biološkog sistema koji se proučava. Primer ovog odnosa može se naći u proučavanju srčane funkcije. Inženjer-naučnik možda istražuje složenost protoka tečnosti kroz neverovatnu pumpu koja je ljudsko srce. Mogu se kreirati matematički modeli za modeliranje kinematike srca tokom kontrakcije i jednačine za definisanje ponašanja protoka tečnosti. Kroz tehnike simulacije i dostupne računarske mašine, oni mogu koristiti ovaj model da razumeju karakteristike koje su previše složene za analitičko izračunavanje ili intuitivno prepoznavanje. Pored toga, ovaj proces simulacije olakšava dizajniranje odgovarajućih eksperimenata koji se mogu izvesti na stvarnom biološkom sistemu. Rezultati ovih eksperimenata mogu se, zauzvrat, koristiti za izmenu modela. Dakle, povećano razumevanje biološkog mehanizma je rezultat ovog iterativnog procesa.

Ovaj matematički model takođe može predvideti efekat ovih promena na biološki sistem u slučajevima kada stvarni eksperimenti mogu biti zamorni, veoma teški ili opasni.

Istraživači su tako nagrađeni boljim razumevanjem biološkog sistema, a matematički opis formira kompaktan, precizan jezik koji se lako prenosi drugima. U primeru kardiološkog istraživača, inženjer mora u svakom trenutku da razmotri anatomske i fiziološke uzroke za rezultate makromodela – u ovom slučaju, zašto srce pumpa onako kako jeste. Aktivnosti inženjera-naučnika neizbežno uključuju razvoj instrumenta jer je korišćenje sofisticiranih tehnika merenja često neophodno za obavljanje biološke strane eksperimentalnog rada. Neophodno je da inženjeri-naučnici rade u biološkom okruženju, posebno kada njihov rad na kraju može imati kliničku primenu. Nije dovoljno naglasiti finoće matematičke analize uz gubljenje kliničke važnosti u

procesu. Ovaj biomedicinski inženjer je pravi partner biološkog naučnika i postao je sastavni deo istraživačkih timova koji se formiraju u mnogim institutima za razvoj tehnika i eksperimenata koji će otkriti misterije ljudskog organizma. Svaka od ovih uloga predviđenih za biomedicinskog inženjera zahteva drugačiji stav, kao i specifičan stepen znanja o biološkoj sredini. Međutim, svaki inženjer mora biti kvalifikovan profesionalac sa značajnom stručnošću u inženjerskoj tehnologiji.

Stoga, u pripremanju novih profesionalaca da uđu u ovu oblast na ovim različitim nivoima, obrazovni programi iz biomedicinskog inženjerstva se neprestano suočavaju sa izazovima da razviju nastavne planove i programe koji će pružiti adekvatnu izloženost i znanje o životnoj sredini, bez žrtvovanja osnovnih inženjerskih veština. Kako nastavljamo da se krećemo u period koji karakteriše ubrzano starenje stanovništva, rastuća socijalna i ekonomska očekivanja i potreba za razvojem adekvatnijih tehnika za prevenciju, dijagnozu i lečenje bolesti, razvoj i zapošljavanje biomedicinskih inženjera su postali postati neophodnost. Ovo je tačno ne samo zato što mogu pružiti priliku da povećamo naše znanje o živim sistemima, već i zato što predstavljaju obećavajuća sredstva za ubrzavanje konverzije znanja u delotvornu akciju.

Konačna uloga biomedicinskog inženjera, poput medicinske sestre i lekara, je da služi društvu. Ovo je profesija, a ne samo stručna tehnička služba. Da bi ovu novu rasu efikasno koristili, zdravstveni radnici i administratori treba da budu svesni potreba za ovim novim profesionalcima i ulogama za koje se obučavaju. Veliki potencijal, izazov i obećanje u ovom poduhvatu nude ne samo značajne tehnološke koristi, već i humanitarne koristi.

1.5 NEDAVNA NAPRETKA U BIOMEDICINSKOM INŽENJERSTVU

Biomedicinski inženjering je ogromno polje sa mnoštvom koncentracija i istraživačkih inicijativa. Dok se tehničari povezani sa kliničkim inženjeringom i nizom drugih koncentracija fokusiraju uglavnom na postojeće tehnologije, istraživači uživaju u uzbuđenju inoviranja novog. Biomedicinsko inženjerstvo je eksponencijalno poraslo od svog prihvatanja kao oblasti pre manje od jednog veka, do te mere da danas ne postoji grana medicine koju ne dotiče skup veština rešavanja problema inženjera. Cilj ovog odeljka nije da učini čitaocu svesnim o svakoj najsavremenijoj tehnologiji koja se danas razvija, već da pruži uvod u primer ovih novih avantura.

1.5.1 Protetika

Protetika je jedna od najstarijih inovacija biomedicinskog inženjerstva. Oblast asistivne tehnologije, posebno protetika, postala je prava inženjerska disciplina sama po sebi u periodu posle Drugog svetskog rata, kada se neviđeni broj veterana vratio kući živi, ali invalidi, zbog napretka medicine. Protetika se definiše kao bilo koji „unutrašnji ili spoljašnji uređaj(i) koji zamenjuju izgubljene delove ili funkcije neuroskeletonotornog sistema“ i može biti ortopedski ili eksterno kontrolisan. Spolja kontrolisane uređaje može napajati samo telo putem mioelektričnosti ili odvojenog napajanja. Neuralna protetika predstavlja najnoviju oblast u protetici i jednu od najbrže razvijajućih tema u biomedicinskom inženjerstvu danas.

Ortopedska protetika

U dizajniranju „zamjenskog“ ekstremiteta za ljudsko tijelo, inženjer je zakopan pod nepristojnom količinom razmatranja i ograničenja dizajna. Dodatak mora biti funkcionalno dovoljan, dizajn

jedinstven za svakog pojedinca, u zavisnosti od aktivnosti koje treba da se realizuju. Mora biti udoban, estetski prijatan, zgodan i jednostavan za pričvršćivanje. Protetike i ortoze koje žele da imitiraju ljudsko telo deo po deo imaju velike poteškoće u razvoju i primeni. Umesto toga, uvek treba uzeti u obzir opštu primenu uređaja, imajući na umu korisnika.

Primer ove strategije dizajna može se naći u savitljivom stopalu, protetskom stopalu bez stvarne sličnosti sa prirodnim dodatkom. Umesto da se bore da ponovo stvore biomehaniku skočnog zgloba, tarzala, metatarzalnih kostiju i falangi potkolenice, dizajneri su kreirali protezu sa jednim kontaktnim delom, bez zgloba i koja se sastoji od samo jednog materijala.

Gepardska noga prikazana na slici 1.11 je jedna vrsta takve protetike i omogućila je paraolimpijcima poput Oskara Pistorijusa da se takmiče u skali koja se približava skali sposobnih sportista. Zapravo, noga geparda je dozvolila Pistorijusu, dvostrukom amputiranom, da se takmiči na nivou koji je postao predmet kontroverzi. 2008. godine, južnoafrički sprinter se borio na terenima za priliku da se takmiči sa sposobnim sportistima na Olimpijskim igrama u Pekingu. Iako se Pistorijus na kraju nije kvalifikovao, njegovi naponi su podstakli debatu o tome da li je njegova projektovana protetika funkcionisala bolje od ljudske noge, što mu je zapravo dalo prednost u odnosu na trkače na standardnim Olimpijskim igrama.



Slika 1.11. Paraolimpijski sprinter Oskar Pistorijus sa protetskom nogom. Dizajniranje za opštu funkciju, za razliku od ogledanja ljudskog tela, često je praktičniji pristup. <http://vfv.thefinalsprint.com/>

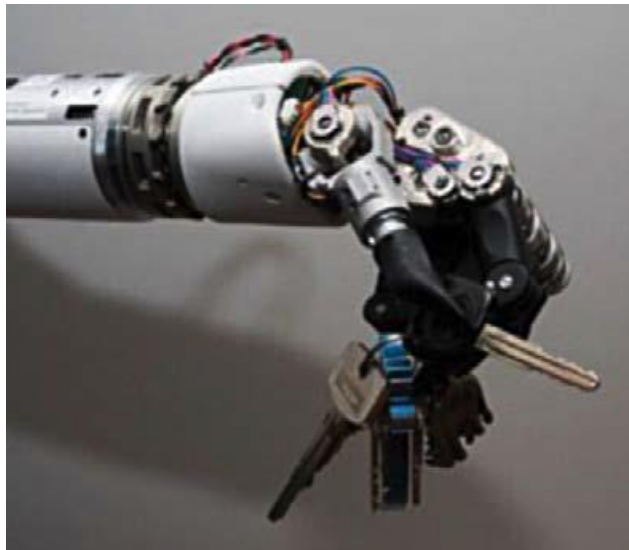
Eksterno kontrolisane protetike koriste eksterne motore da napajaju svoj rad. C-Leg je primer takvog uređaja. Ova protetska noga ima koleno koje kontroliše mikroprocesor; ima senzore sile za ugao, zamah i brzinu; i traje 25 do 30 sati bez punjenja. Neravni teren se rešava pomoću C-noge, kao i promene u tempu i smeru hoda. Poslednjih godina, razvoj senzora i motora minimalne veličine omogućio je uređaje kao što je C-Leg.

Neuralna Protetika

Neuralna protetika predstavlja jednu od najnovijih i možda najzbudljivijih koncentracija biomedicinskog inženjeringa. Ove uređaje može napajati ljudsko telo – to jest, oni rade od električnih signala koji se šalju preko elektroda sa spoljašnjeg izvora na periferni mišićni neuron - ili se mogu napajati spolja. Ovi sistemi koji koriste funkcionalnu električnu stimulaciju (FES) za „obnavljanje senzorne ili motoričke funkcije“ su definicija neuronskih proteza. Ovi NP imaju potencijal da pomognu žrtvama kičmene moždine ili povreda cervikalnog stuba (SCI i CI), vraćanje funkcije mišića i donjih ekstremiteta. Stimulacija preko elektroda mora da dostigne graničnu frekvenciju da bi se postigla tetanizacija, ili glatka kontrakcija mišića. Stimulacija ispod ove frekvencije dovodi do izolovanih trzaja i zamora mišića. Elektrode se mogu implantirati transkutano (na površini), perkutano (stimulator izvan tela se povezuje sa unutrašnjom tačkom stimulacije) ili implantirane.

Za razliku od nogu, gde niz prilično jednostavnih zglobova i velikih motornih jedinica obezbeđuju dovoljnu funkciju, gornji ekstremiteti predstavljaju značajan izazov u zahtevima fino podešene kontrole. Neverovatnu snagu i fleksibilnost složene funkcije ruke teško je reprodukovati. Najnoviji u dizajnu protetika nada se da će prevazići neke od ovih izazova. Luke Arm (slika 1.12) je zamisao pronalazača Segvaia Deana Kamena.

Ruka ima isto toliko stepena slobode kao i ljudska ruka i sposobna je da se podigne iznad glave korisnika. Ruka koristi mioelektrične signale koji potiču iz rezidualnih nerava u gornjem delu tela. Fino podešena kontrola je potpomognuta kontrolama u cipeli korisnika; aktiviranjem različitih „pedala“, korisnik može da rotira zglob ili da uhvati ili otpusti neki predmet. Senzorna povratna informacija, stalni problem sa mehaničkom protetikom, obezbeđuje se preko senzora pritiska na vrhovima prstiju, koji se vraćaju na vibrirajući flaster koji se nosi na leđima korisnika. Povećan pritisak korisnik oseća promenom intenziteta vibracija. Klinička ispitivanja su u toku.



Slika 1.12. Luke Arm Deana Kamena, najnaprednija neuronska protetika do sada, koja koristi mioelektrične signale. Trenutno su u toku klinička ispitivanja. <http://medgadgets.com>.

Dizajn protetike uključuje intenzivnu pozadinu inženjerstva materijala, kao i dubinsko razumevanje kinematičkog modeliranja i fiziologije. Američki odbor za sertifikaciju u ortotici,

protetici i pedortici daje smernice za sertifikaciju kao licencirani protetičar. Oni u ovoj oblasti moraju da završe akreditovani dodiplomski program iz protetike ili diplomski program specijalizovan za ovu oblast sa odgovarajućom dodiplomskom diplomom. Razvoj neuronske protetike uključuje tim članova iz različitih sredina, uključujući biomehaniku, elektroniku i matematičko modeliranje.

Dok protetika predstavlja snažan primer evolucije asistivne tehnologije i predstavlja niz zanimljivih dizajnerskih inovacija, poslednjih godina oblast biomedicinskog inženjeringa se pomerila sa fokusa na mehaničke sisteme na biološka i organska rešenja.

Dok su se pre nekoliko decenija primarni ciljevi biomedicinskog inženjera sastojali od dizajna uređaja, moderni podvizi su verovatnije uključivali biohemiju i gensku terapiju nego šrafove, navrtke i zavrtnje. Dva glavna primera ove promene fokusa su inženjering tkiva i istraživanje matičnih ćelija.

1.5.2 Inženjering tkiva

Inženjering tkiva, relativno nova oblast u biomedicinskom inženjerstvu, sastoji se od proizvodnje biološkog tkiva bilo ek vivo ili in vitro (van tela), ili ugradnje novih dostignuća koja pomažu u popravci i rastu postojećih tkiva in vivo (unutra Telo). In ek vivo primene, bioveštačka tkiva (ona koja se sastoje od sintetičkih i prirodnih materijala) se koriste kao alternativa transplantaciji organa ili se razvijaju za proučavanje ponašanja tkiva in vitro. Neka važna pitanja u ovoj oblasti uključuju izolaciju ćelija, kontrolu organizacije i funkcije ćelije, podizanje nivoa na puna bioveštačka tkiva, i proizvodnju biomaterijala.

Dok su najpoznatija dostignuća inženjeringa tkiva bila u epitelnim tkivima, trenutno su u toku klinička ispitivanja za rekonstrukciju hrskavičnog, koštanog, nervnog i jetrenog tkiva. Graftovi se koriste za lečenje svih vrsta oštećenja kože, uključujući opekotine, dekubituse, venske zastoje i dijabetičke čireve. Polimerne cevi se implantiraju da pomognu u regeneraciji nerava usled oštećenja ili poremećaja centralnog i perifernog nervnog sistema.

Inženjering tkiva takođe pokriva zamenu zglobova, uključujući rekreaciju vezivnog tkiva i koštane transplantacije. Veštački srčani zalisci primenjuju tkiva goveda i svinja zajedno sa bioveštačkim supstancama. Insuficijencija organa se takođe leči inovacijama u ovoj oblasti, lečenjem svega, od raka jetre do rekonstrukcije dojke. Transfuzija krvi i napredak stomatološke hirurgije samo su još dva primera širokog spektra primene tehnologija tkivnog inženjeringa. Transplantacija koštane srži radi na regeneraciji najplodnijeg organa u telu. Srž je odgovorna za proizvodnju krvnih zrnaca i često je oštećena mijeloablativnim režimima lečenja, kao što su hemoterapija i zračenje. Savremene metode uključuju uzimanje uzoraka srži pacijenata pre režima terapije i njihovo ponovno ubrizgavanje nakon tretmana. Telo obnavlja zalihe koštane srži, izazivajući privremeni imunodeficijencija.

U slučaju razvoja tkiva pankreasa i jetre, koristi se bioreaktorski model. Bioreaktori su sistemi koji se sastoje od velikog broja ćelija koje uzimaju ulaz reaktanata i izlaze skup proizvoda. Bioreaktori su takođe implementirani za proizvodnju krvnih zrnaca iz hematopoetskog tkiva. Dva tipa bioreaktorskih sistema su sistemi sa šupljim vlaknima i sistemi zasnovani na mikronosačima. U

sistemu šupljih vlakana, veliki broj šupljih cevi malog prečnika spojen je zajedno pomoću veće školjke. U male epruvete se ubrizgavaju ćelije specifične za organ koje su suspendovane u matriksu zasnovanom na kolagenu. Matrica će se skupiti, ostavljajući prostor unutar malih cevi. Pacijentova sopstvena krv ili plazma se ubrizgava u veću, sveobuhvatnu epruvetu i dozvoljava joj da hrani hepatopoetske ćelije protokom kroz tek ispražnjeni prostor u manjim epruvetama. U sistemima baziranim na mikronosačima, male perle (manje od 500 μm) sa površinama posebno obrađenim za pričvršćivanje ćelija se ili postavljaju

u upakovanom ili fluidizovanom sloju ili ugrađenim u patrone od šupljih vlakana. U metodi sa nabijenim slojem, kolona se puni perlama i na svakom kraju zatvara poroznim pločama da bi se omogućila perfuzija. Stope uspeha se oslanjaju na brzinu protoka tečnosti kroz kolonu, kao i na gustinu nabijenih kuglica i odnos dimenzija kolone.

Biomaterijali igraju značajnu ulogu u tkivnom inženjeringu. U svakom od prethodnih primera, biomaterijali se pokazuju kao sastavni deo regeneracije i rekonstrukcije tkiva. Od očigledne primene dizajna veštačkog ventila do manje očigledne uloge dizajna igle za injekciju u transplantaciji koštane srži, razvoj biomaterijala je neophodan korak u napretku tkivnog inženjeringa. Uređaji moraju obezbediti mehaničku podršku, sprečiti neželjene interakcije tkiva i potencijalno omogućiti pravovremenu biorazgradnju.

Uređaji od biomaterijala mogu se podeliti na dva tipa, od kojih svaki postoji na skali od nekoliko stotina mikrona. Imunoprotektivni uređaji sadrže polupropusne membrane koje sprečavaju specifične elemente imunog sistema domaćina od ulaska u uređaj. Otvoreni uređaji su, nasuprot tome, dizajnirani da sistemi budu potpuno integrisani sa domaćinom i imaju velike pore (veće od 10 μm), omogućavajući slobodan transport ćelija i molekula. Veličina pora unutar biomaterijala direktno je u korelaciji sa funkcijama uređaja. Struktura pora je određena kontinuitetom pojedinačnih pora u uređaju, kao i veličinom i distribucijom veličine. Tri klasifikacije poroznih materijala su mikroporozni, mezoporozni i makroporozni. Mikroporozni materijali imaju pore prečnika manjeg od 2 μm i omogućavaju transport malih molekula, uključujući gasove. Mezoporozni materijali omogućavaju transport malih proteina i imaju pore prečnika od 2 do 50 μm . Makroporozni materijali imaju pore prečnika većeg od 50 μm i omogućavaju da veliki proteini, a možda čak i ćelije, prolaze kroz njih. Fibrovaskularno tkivo će proći kroz bilo koji materijal sa porama većim od 10 μm . Veličina i distribucija pora su retko pravilne, a abnormalnosti će promeniti opšta svojstva materijala kao i brzinu protoka tečnosti kroz uređaj.

Glavni fokus u tkivnom inženjeringu je kontrola organizacije i regeneracije ćelija. Što istraživač ima veću kontrolu nad razvojem ćelija, to su veće mogućnosti i širi opseg primene bioveštačkog tkiva. Matične ćelije pružaju priliku istraživačima da razviju tkiva u suštini od nule. Matične ćelije grade i održavaju ćelije *in vivo* i poseduju sposobnost da se koriste za stvaranje tkiva *ex vivo*. Neke osnovne informacije o ovoj novoj tehnologiji date su u nastavku, a specifične aplikacije za inženjering tkiva dostupne su u kasnijim poglavljima.

1.5.3 Istraživanje matičnih ćelija

Posljednjih godina, matične ćelije su postale tema i intenzivne kontroverze i neverovatnog uzbuđenja unutar istraživačke zajednice. Potencijal tehnologije matičnih ćelija je očigledno neograničen, sa nekim poznatim mogućnostima prikazanim na slici 1.7. Ćelije se mogu koristiti za testiranje lekova na različitim tipovima tkiva, da bi se razumelo kako sprečiti urođene mane i potencijalno zameniti i regenerisati oštećeno tkivo u telu. Mogućnosti zaista izgledaju beskrajne. U stvari, postoje dve različite vrste matičnih ćelija. Embrionalne matične ćelije potiču iz embriona, koje uglavnom isporučuju klinike za vantelesnu oplodnju četiri do pet dana nakon oplodnje. U ovom trenutku, matične ćelije će se ili samoregenerisati ili će se posvetiti i diferencirati.

Samoobnavljanje ili regeneracija znači da će se matična ćelija razmnožavati bez obaveze razvoja. U suštini, matična ćelija ostaje matična ćelija. Diferencijacija je ekspresija gena specifičnih za tkivo ili ćelije. Za većinu tkiva u ljudskom telu, ćelije će se konačno razlikovati. U nekim slučajevima, međutim, potrebna je dinamička operacija i, kao takva, populacija odraslih matičnih ćelija se održava u svrhu regeneracije. Dva najčešća tipa odraslih matičnih ćelija su hematopoetski sistem (obnavljanje krvi) i crevni epitel. Ovi tipovi ćelija su slični po tome što se obe javljaju u veoma velikom broju i imaju kratak životni vek. Matične ćelije su potrebne za održavanje ove dinamične populacije.

Istraživači kontrolišu razvoj matičnih ćelija i diferencijaciju unutar kultura prema broju sredstava. Za embrionalne matične ćelije, razlika između samoregeneracije i diferencijacije je, iznenađujuće, koncentracija jednog esencijalnog proteina ili faktora rasta. Inhibicijski faktor leukemije (LIF), u dovoljno visokim koncentracijama, dovešće do neograničene regeneracije embrionalnih matičnih ćelija u kulturama. Ovo je zanimljiva činjenica, jer dokazuje da razvoj matičnih ćelija nije intrinzično unapred određeno stanje, već je indukovano spoljašnjim faktorima.

Izvršnom uredbom iz 2009. godine, predsednik Barak Obama je ukinuo osam i pogodišnju zabranu istraživanja matičnih ćelija koje finansira vlada, zasluživši pohvale od naučne zajednice jer je otvorila vrata potencijalnim lekovima za neke od najteže bolesti čovečanstva. I inženjerstvo tkiva i istraživanje matičnih ćelija predstavljaju samo uzorke prodornih biološki fokusiranih poduhvata koje trenutno istražuju današnji biomedicinski inženjeri.

1.6 PROFESIONALNI STATUS BIOMEDICINSKOG INŽENJERSTVA

Biomedicinski inženjeri su profesionalci, koji se definišu kao skup ljudi koji pronalaze identitet u deljenju vrednosti i veština apsorbovanih tokom zajedničkog kursa intenzivne obuke. Da li su pojedinci profesionalci utvrđuje se ispitivanjem da li su internalizovali određene date profesionalne vrednosti. Štaviše, profesionalac je neko ko ima internalizovane profesionalne vrednosti i licenciran je na osnovu svoje tehničke kompetencije.

Profesionalci uglavnom prihvataju naučne standarde u svom radu, ograničavaju svoje radne aktivnosti na oblasti u kojima su tehnički kompetentni, izbegavaju emocionalnu uključenost, neguju objektivnost u svom radu i stavljaju interese svojih klijenata ispred svojih.

Koncept profesije koja je uključena u dizajn, razvoj i upravljanje medicinskom tehnologijom obuhvata tri osnovna modela zanimanja: nauku, biznis i profesiju. Prvo razmotrite kontrast između nauke i profesije. Nauku se posmatra kao potragu za znanjem, čija vrednost zavisi od pružanja

dokaza i komunikacije sa kolegama. Na profesiju se, s druge strane, gleda kao na pružanje usluge klijentima koji imaju probleme koje ne mogu sami da reše. Naučnici i profesionalci imaju zajedničko korišćenje nekog znanja, veština ili stručnosti. Međutim, dok naučnici vežbaju svoje veštine i izveštavaju o svojim rezultatima kolegama sa znanjem, profesionalci, kao što su advokati, lekari i inženjeri, služe laicima. Da bi se zaštitili i profesionalci i klijenti od posledica nedostatka znanja laika, praksa profesije se često reguliše kroz takve formalne institucije kao što je državno licenciranje. I profesionalci i naučnici moraju da ubede svoje klijente da prihvate njihova otkrića. Profesionalci podržavaju i prate određeni etički kodeks da služe društvu. S druge strane, naučnici podstiču svoje kolege da prihvate svoja otkrića putem ubeđivanja. Uzmite, na primer, medicinsku profesiju. Njeni članovi su obučeni za brigu o bolesnima, sa primarnim ciljem da ih leče. Ovi profesionalci ne samo da imaju odgovornost za stvaranje, razvoj i implementaciju te tradicije, već se od njih očekuje i da pruže uslugu javnosti, u granicama, bez obzira na lični interes.

Da bi se obezbedila odgovarajuća usluga, struka pažljivo prati proces licenciranja i sertifikacije. Stoga se i sami medicinski radnici mogu posmatrati kao mehanizam društvene kontrole. Međutim, to ne znači da drugi aspekti društva nisu uključeni u vršenje nadzora i kontrole lekara u njihovoj medicinskoj praksi.

Poslednji atribut profesionalaca je integritet. Lekari imaju tendenciju da budu i permissivni i podržavajući u odnosima sa pacijentima, a ipak su često suočeni sa moralnim dilemama koje uključuju želje njihovih pacijenata i društveni interes. Na primer, moralno je pitanje sa kojim su zdravstveni radnici primorani da se suoče sa pitanjem kako ispoštovati želje neizlečivo bolesnih pacijenata, a da pritom ne olakšavaju smrt pacijenata.

Status profesionalizacije se može utvrditi uočavanjem šest ključnih događaja: prva škola za obuku, prva univerzitetska škola, prvo lokalno strukovno udruženje, prvo nacionalno profesionalno udruženje, prvi državni zakon o licenci i prvi formalni kodeks etika. Rana pojava škole za obuku i pripadnost univerzitetu naglašavaju važnost negovanja baze znanja. Strateška inovativna uloga univerziteta i ranih nastavnika leži u povezivanju znanja sa praksom i stvaranju obrazloženja za isključivu jurisdikciju. Oni praktičari koji se zalažu za propisanu obuku tada formiraju profesionalno udruženje. Udruženje definiše zadatke struke: podizanje kvaliteta regruta; redefinisavanje njihove funkcije kako bi se omogućilo korišćenje manje tehnički obučениh ljudi za obavljanje rutinskih, manje uključenih zadataka; i upravljanje unutrašnjim i spoljnim konfliktima.

U tom procesu može doći do unutrašnjeg sukoba između onih koji su posvećeni prethodno uspostavljenim procedurama i novopridošlih koji su posvećeni promenama i inovacijama. U ovoj fazi, neki oblik profesionalne regulative, kao što je licenciranje ili sertifikacija, pojavljuje se zbog uverenja da će obezbediti minimalne standarde za profesiju, poboljšati status i zaštititi laika u procesu.

Poslednja oblast profesionalnog razvoja je uspostavljanje formalnog etičkog kodeksa, koji obično uključuje pravila za isključenje nekvalifikovanih i beskrupuloznih praktičara, pravila za smanjenje interne konkurencije i pravila za zaštitu klijenata i naglašavanje idealnog služenja društvu. Etički kodeks obično dolazi na kraju procesa profesionalizacije.

U biomedicinskom inženjerstvu, svih šest kritičnih koraka je jasno preduzeto. Oblast biomedicinskog inženjeringa, koja je nastala kao profesionalna grupa zainteresovana prvenstveno za medicinsku elektroniku kasnih 1950-ih, izrasla je od nekoliko raštrkanih pojedinaca do veoma dobro uspostavljene organizacije. Postoji oko 48 međunarodnih društava širom sveta koja opslužuju sve veću zajednicu biomedicinskih inženjera. Danas je obim biomedicinskog inženjeringa izuzetno raznolik. Tokom godina, mnoge nove discipline kao što su inženjerstvo tkiva, veštačka inteligencija i tako dalje, koje su nekada smatrane stranim za ovu oblast, sada su sastavni deo profesije.

Profesionalna društva igraju glavnu ulogu u okupljanju članova ove raznolike zajednice da podele svoje znanje i iskustvo u potrazi za novim tehnološkim primenama koje će poboljšati zdravlje i kvalitet života. Međudruštvena saradnja i saradnja, kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou, danas se aktivnije neguju kroz profesionalne organizacije kao što su Društvo za biomedicinsko inženjerstvo (BMES), Američki institut za medicinsko i biološko inženjerstvo (AIMBE), Inženjersko-medicinsko i biološko društvo (EMBS) i Institut elektrotehničkih i elektronskih inženjera (IEEE).