

Åbenhed



Teknologisk fremsyn om bio- og sundhedsteknologi



Ministeriet for Videnskab
Teknologi og Udvikling

1. Sammenfatning og anbefalinger

Inden for bio- og sundhedsteknologi ser vi i disse år en række teknologiske kvantespring inden for livsforlængelse, forbedring af livskvalitet, forebyggelse og behandling af sygdomme. Helt nye behandlingsformer vil se dagens lys, ligesom vi hver især på helt nye måder vil blive i stand til at følge vor egen helbredstilstand. Alt i alt kan dette give helt nye muligheder både for bedre helbred, men også for et generelt bedre velvære for den enkelte.

Mulighederne og udfordringerne er store, og vi vil næppe kunne ”vælge frit på alle hylder”. Dette teknologiske fremsyn bidrager til, at samfundets og erhvervslivets knappe ressourcer kan blive investeret, der hvor nytteværdien og effekten er størst - set både i forhold til vækst og velfærd og dermed også i forhold til at imødekomme de kommende års sundhedsmæssige udfordringer.

Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling har derfor igangsat et nationalt teknologisk fremsynsprojekt. Dette teknologiske fremsyn inden for bio- og sundhedsteknologi er et resultat heraf. Det er et ekspertpanel bestående af repræsentanter fra forskning, erhvervsliv og organisationer, som har udarbejdet dette fremsyn for ministeriet. Panelet er sammensat bredt på tværs af sektorer og specialer for at sikre en bred forankring og størst mulig realisme i noget så vanskeligt som et teknologisk fremsyn.

Et teknologisk fremsyn er et redskab for politikere, organisationer og erhvervslivet til prioritering af fremtidige investeringer. Fremsynet skal tjene som grundlag for en bredere offentlig debat samt til kvalificering af dialogen og samarbejdet mellem forskning og offentlige og private virksomheder.

Med afsæt i dette teknologiske fremsyn peger ekspertpanelet på en række anbefalinger inden for fire overordnede indsatsområder. Se tekstboks 1.1.

Grundlaget for anbefalingerne er fire fremtidsscenarier, som panelet har udviklet. De fire scenarier er diskuteret og udarbejdet med udgangspunkt i dagens Danmark og de teknologiske og sundhedsmæssige udviklingstendenser, som forventes at få stor betydning for Danmarks videre udvikling inden for bio- og sundhedsområdet.

De sundhedsmæssige udviklingstendenser præsenteres i det følgende afsnit 1.1, mens de teknologiske udviklingstendenser skitseres i afsnit 1.2. Derpå præsenteres de fire scenarier i afsnit 1.3. Afsnit 1.4 samler op på de gennemgående elementer på tværs af scenarierne, og endelig udfoldes panelets anbefalinger i afsnit 1.5-1.9.

Tekstboks 1.1: Anbefalinger fra det bio- og sundheds- teknologiske fremsyn

Styrk forskningen

- Styrk den strategiske forskning – f.eks. inden for individuel medicinering
- Solid grundforskning som forudsætning for strategisk forskning
- Kritisk masse i grundforskningsmiljøer
- Løbende evaluering af forskningsgrupper med 5 års interval
- Udbyg samarbejdet mellem universiteter/forskning, hospitaler og virksomheder inden for anvendelsesorienteret forskning – f.eks. medicoteknik og pervasive healthcare
- Nedbryd barrierer for tværfaglig forskning

Oprust uddannelsesområdet

- Flere polyuddannelser som integrerer tekniske og medicinske/ biologiske fag
- Reformér meritssystemer – praktisk erfaring skal tælle med
- Livslang tilknytning til universitetet
- Øget internationalisering af uddannelser

Intensivér industriel udnyttelse og innovation

- Gå foran i udviklingen af et effektivt internationalt patentsystem
- Offentlig støtte til F&U i private virksomheder
- Styrk offentligt-privat samarbejde
- Lægemiddelstyrelsen skal være proaktiv i det internationale harmoniseringsarbejde om standarder og krav til skræddersyet medicin
- Bedre orlovsordninger for offentlige forskere
- Individuelle udviklingskontrakter for forskere

Rejs offensiv etisk debat

- Debat om målene for teknologianvendelsen på sundhedsområdet
- Debat om grænserne for privatliv og social retfærdighed
- Debat om ejerskab af patientdata
- Informationskrav til virksomheder og institutioner (etiske regnskaber)
- Debatten skal foregå demokratisk og kontinuerligt

Kilde: Oxford Group, 2003

1.1. Fremtidige sundhedsmæssige udfordringer

På sundhedsområdet står vi over for nogle fremtrædende udfordringer og udviklingstendenser. I fremtiden tegner sig således en række grundlæggende ændringer i det samlede sygdomsbillede, sundhedsvæsenets struktur, behandlerforholdet samt etiske overvejelser. Forhold der alle har spillet en væsentlig rolle i udfoldelsen af scenarierne i dette fremsyn. Se tekstboks 1.2.

Det samlede **sygdomsbillede** synes at ændre sig. Umiddelbart står vi over for den – banale – udfordring, at andelen af ældre stiger, og da gennemsnitsalderen samtidig stiger, vil endnu flere formentlig stille krav til behandling. Yderligere synes sygdomme, der i vid udstrækning er afhængige af livsstil, at blive mere fremherskende i disse år. Stigende problemer med fedme er også en stor udfordring, da det fører til flere karsygdomme, et stigende antal diabetikere og nedslidningsproblemer med bevægeapparatet.

Der er desuden nogle generelle udviklingstendenser i **sundhedsvæsenets struktur** og dynamik man ikke kan se bort fra. Blandt andet er der et manglende udbud af højtuddannet arbejdskraft, omfanget af private forsikringer på sundhedsområdet forventes at stige, og endelig synes udviklingen i sundhedsvæsenets administrative struktur at pege i retning af øget central styring.

Patientens forhold til behandleren, **behandlerforholdet**, ændrer sig også i og med, at patienterne forventer højere service, højere kvalitet og mere individuel tilpasning i behandlingen end tidligere. Samtidig ønsker de et mere sammenhængende behandlingsforløb, men er også villige til at tage mere ansvar for deres eget helbred.

Udviklingen på sundhedsområdet påvirkes på flere områder også af vores **etiske holdninger** til ny teknologi, og der er i det hele taget en lang række etiske konsekvenser af den teknologiske udvikling. Nogle af de etiske holdninger til teknologi, som ofte fremhæves og diskuteres, er bl.a., hvad der er naturligt henholdsvis unaturligt, og hvordan sikkerhed skal prioriteres i forhold til forskellige risici.

Tekstboks 1.2: Danmarks sundhedsmæssige udfordringer

Udviklingen i sygdomsbilledet

- Livsstilsafhængige sygdomme mere udbredte
- Aldrende befolkning
- Miljøskabte sygdomme
- Nye globale bevægelsesmønstre

Sundhedsvæsenets struktur og udgifter

- Øgede sundhedsudgifter
- Problemer med udbudet af højtuddannet arbejdskraft
- Private forsikringer
- Amternes fremtid

De etiske spørgsmål

- Den naturlige udvikling
- Sikkerhed og risiko ved nye teknologier
- Respekten for liv
- Hensyn til menneskers selvbestemmelsesret
- Krav om at være rask

Udviklingen i behandlerforholdet

- Patienternes efterspørgsel ændrer karakter
- Sammenhængende sygdomsbehandling
- Øget ansvar for eget helbred
- Alternative behandlingsmetoder

Kilde: Oxford Group, 2003

1.2. Centrale fremtidige teknologier

Hvorledes vi tackler de sundhedsmæssige udfordringer afhænger i høj grad af, hvorledes vi vælger at håndtere den teknologiske udvikling. De **teknologiske udviklingstendenser** anses for radikale og vil på mange områder bringe de bio- og sundhedsteknologiske muligheder ind i en ny dimension.

Endnu flere teknologier, end det er tilfældet i dag, vil i fremtiden få indflydelse på udbudet af sundhedsydelse. I dette fremsyn har det imidlertid været vigtigt at identificere de bio- og sundhedsteknologier, som vil få særlig afgørende indflydelse på udviklingen og radikalt ændre de muligheder, vi har for at behandle, helbrede og pleje mennesker.

Med udgangspunkt i erfaringerne fra en række internationale bio- og sundheds-teknologiske fremsyn og gennem høringer hos en række fageksperter vurderede panelet, at mulighederne inden for humane genomer og proteomer, stamceller, bio-elektronik og pervasive healthcare netop opfylder et sådant potentiale, og derfor er kernen i dette fremsyn og scenarieudfoldelsen.

Inden for **humane genomer og proteomer** har kortlægningen af det menneskelige DNA banet vejen for helt nye måder at forvalte sygdomme og sundhed på. Der er tale om et paradigmeskift i retning af individualiserede og forebyggende behandlingsformer på grundlag af genetisk disposition, målrettet screening, diagnosticering og innovative medicinske behandlingsmetoder. Perspektiverne er blandt andet screening for genetisk bestemte karakteristika, mere individualiserede og målrettede sygdomsbehandlinger og forbedret bekæmpelse af humane patogener (menneskebårne vira og bakterier).

Stamceller er særlige celler, som har evnen til både at forny sig selv og danne andre typer af celler. Stamceller er på den måde vort legemes eget naturlige reservedelslager af celler. Gennem forskning i stamceller fra det tidlige fosteranlæg og de forskellige væv hos voksne forsøger man i dag at forstå og udnytte legemets naturlige reservedele. Derved åbnes meget spændende perspektiver for udvikling af nye behandlingsformer, hvor stamceller kan bruges til at erstatte syge celler og væv (stamcelle-baseret celleterapi).

Inden for **bio-elektronik** har nyere forskning, i bl.a. cellernes egenskaber og deres samspil med deres omgivelser, åbnet for nye måder at integrere og skabe samspil mellem biologisk materiale og elektroniske systemer. Ved hjælp af nanoteknologi er man blevet i stand til at undersøge og konstruere systemer helt ned på det atomare niveau. Denne teknologi er man så i stand til at kombinere med ny viden om cellernes evne til at fungere som elektriske enheder så som transistorer (elektriske ledere og kontakter) og mere grundlæggende deres evner som analytiske måleredskaber. Bio-elektronik er derfor en meget spændende mulighed for bl.a. det medico-tekniske område gennem udviklingen af elektroniske implantater til f.eks. rehabilitering og biosensorer til monitorering.

Pervasive healthcare vil i fremtiden kunne udnyttes til at give patienter, pårørende og personale bedre adgang til information, når og hvor de har behov for det. Mulighederne inden for sundhedsfremme og behandling i hjemmet – home care – er også mange. Pervasive healthcare kan derfor ses som forbedring af pleje, kommunikation og resourceudnyttelse og vil således kunne optimere sundhedssektoren på flere områder.

I tekstboks 1.3 listes nogle fremtrædende potentielle anvendelsesmuligheder for de fire teknologiområder:

Tekstboks 1.3: Potentielle anvendelsesmuligheder inden for humane genomer og proteomer, stamceller, bio-elektronik og pervasive healthcare:

Humane genomer og proteomer

Genetisk diagnostik

- Personlig genprofil (genkort)
- Prænatal diagnostik

Forebyggelse

- Identificere sygdomme før de opstår

Individualiseret behandling

- Genterapi og humane forbedringer
- Farmakogenomik (hvordan genetiske faktorer påvirker lægemidlers virkning)

Betydningen af humane patogener

- Forbedret bekæmpelse af vira og bakterier

Stamceller

Stamcelle-baseret celleterapi

- Neurodegenerative sygdomme (Parkinsons, Alzheimers, cerebral iskæmi, dissemineret sklerose)
- Traumatiske hjerne- og rygmarvs-lidelser
- Diabetes type 1 (insulinproducerende celler)
- Degenerative muskelsygdomme
- Svære leverskader
- Følger efter kræftbehandling

Organdyrkning

- Hud
- Brusk og knoglevæv

Bio-elektronik

Bio-elektronik i nanoskala

- Nano-robotter
- Biologiske computere
- Biosensorer
- Biochips

Elektroniske implantater

- Implantater der kan kommunikere med nerver
- Kunstig nervestimulering
- Kunstige følesanser
- Kunstige organer

Pervasive healthcare

Forbedret udnyttelse og indsamling af data

Forbedrede arbejdsgange for klinisk personale

- Bedre brugerflader
- Mere intelligente systemer

Øget egenomsorg

- Automatisk og mobil monitorering
- Forbedret kommunikation
- Indlæggelse i eget hjem (det virtuelle hospital)

Som sagt vil disse teknologier på mange områder bringe sundhedspleje ind i en helt ny dimension. Et særligt karakteristika ved den teknologiske udvikling er, at disse fire teknologiområder understøtter en individualisering i behandling og pleje, som ikke kendes i dag. Individualiseret medicin, individualiseret pleje gennem computer-teknologi og individuelt tilpassede implantater og organer vil således være et meget centralt element i behandling og pleje i år 2020.

På baggrund af denne skitsering af både revolutionerende bioteknologiske gennembrud og generelle sundhedsmæssige udfordringer i de kommende 10-20 år burde det være klart, at vi i Danmark står over for store politiske valg og strategiske satsninger.

eller RNA, har alle de fordele, som eksisterende vacciner har, men ikke ulemperne. De vil aktivere immunsystemet, men vil ikke føre til infektioner. De vil være billigere, mere stabile, nemmere at opbevare, og kan udvikles til at indeholde adskillige stammer af patogener på en gang.

- **Bedre og mere sikker medicin – ved første forsøg**

I stedet for en ”trial-and-error” metode til at matche patienter og medicin, vil lægerne i et vist omfang kunne analysere en patients genetiske profil og ordinere den bedste tilgængelige terapi og behandling fra starten.

- **Mere præcise metoder til at bestemme doser**

I dag baseres metoder på at finde frem til rette dosis på alder og vægt. I fremtiden vil man tage udgangspunkt i en patients genetiske kort – og hvor godt kroppen tager imod medicinen og hvor lang tid metaboliseringsprocessen tager. Dette vil maksimere værdien af terapien og mindske risikoen for en overdosis.

- **Avanceret screening for sygdomme**

Viden om en persons genetiske kode indebærer, at man kan rådgive en given person i at tilpasse eller ændre sin livsstil i en tidlig alder for dermed at undgå eller mindske risikoen for, at personen udvikler genetiske sygdomme. Ligeledes vil viden om en persons risiko for, at udvikle en specifik sygdom muliggøre løbende monitorering, og at behandling sættes ind på det mest passende tidspunkt for at maksimere effekten af en given terapi.

Stamceller

Celler er kroppens byggesten og mindste fungerende enhed. Til at varetage legemets forskellige funktioner findes ca. 300 forskellige slags celler, samlet i væv og organer med forskellige opgaver. Tænk f.eks. på kroppens muskler, hjernen, nyrerne mave-tarmkanalen og leveren. Når celler dør, skal de erstattes af andre for at undgå at nogle af legemets funktioner reduceres eller går tabt. Det er her stamceller er interessante. Stamceller er nemlig særlige celler, som netop har evnen til både at forny sig selv og danne andre typer af celler. Stamceller udgør legemets **naturlige reservedelslager** af celler.

Tekstboks B.2:

Potentielle muligheder inden for stamcelle-teknologi

Stamcelle-baseret celleterapi

- **Neurodegenerative sygdomme**
(Parkinson's, Alzheimer's, cerebral iskæmi, dissemineret sklerose)
- **Traumatiske hjerne- og rygmarvslidelser**
- **Diabetes type 1 (insulinproducerende celler)**
- **Degenerative muskelsygdomme**
- **Svære leverskader**
- **Følger efter kræftbehandling**

Vævs- og organdykning

- **Hud**
- **Brusk og knoglevæv**
- **Ny lever, nyre osv.**

Kilde: Oxford Group, 2003

Gennem forskning i stamceller prøver man at forstå og udnytte legemets naturlige reserverede. Det har åbnet meget spændende perspektiver for nye behandlingsformer, hvor stamceller kan bruges til at erstatte syge celler og væv (**stamcelle-baseret celleterapi**).

Hvad er stamceller biologisk set?

Biologisk set dækker betegnelsen stamceller over mange typer af celler. De første rigtige stamceller dannes af den befrugtede ægcelle i løbet af de første dage i form af en klump af datterceller, der hurtigt begynder at varetage forskellige opgaver. Nogle celler hjælper med til at indlejre fosteranlægget i livmoderen og danne fosterhinderne (ydre cellemasse). Andre begynder at danne selve fosteret (indre cellemasse). Det er fra cellerne i den indre cellemasse (de embryonale stamceller), at man under den videre fosterudvikling får dannet alle de ca. 300 forskellige celletyper, som vort legeme er sammensat af. Celler af samme type danner de forskellige væv, f. eks. bindevæv, muskelvæv og nervevæv, og tilsammen danner de forskellige væv legemets forskellige organer, f. eks. lunger, hjerte, lever og hjerne.

Helt fra vævenes første dannelse i fosteret og senere i den nyfødte og voksne organisme findes der et større eller mindre antal af stamceller i vævene. Det er fra disse vævsbestemte eller ”**voksne stamceller**”, at der dannes nye celler under den almindelige vækst af fosteret og barnet, ligesom voksne stamceller danner nye celler til erstatning for de celler, der slides ned og dør. Røde blodlegemer lever f. eks. i ca. 120 dage, og tarmceller i ca. 7 dage. Når der sker skade på vævene eller organerne ved sygdom eller direkte ødelæggelse, som f. eks. forbrændinger af huden, er det også fra vævenes voksne stamceller, at nye celler til reparation skal komme. Om reparationen (ophelingen) lykkes afhænger på den ene side af skadens størrelse og på den anden side af de voksne stamcellers evne (potentiale) til at danne nye celler, og den er forskellig fra væv til væv (god i huden, meget dårlig i hjernen).

Fra naturens side er de embryonale stamceller altså byggesten og udgangspunkt for alle fosterets forskellige væv og organer. Væksten og fornyelsen af celler i allerede dannede væv og organer, som de findes hos fosteret, barnet og den voksne, sker fra de såkaldte voksne stamceller. Med disse naturlige udgangspunkter er det stamcelleforskningens mål at isolere og opformere embryonale stamceller fra det tidlige fosteranlæg og voksne stamceller fra vævene og derefter udspecialisere dem i bestemte retninger med henblik på erstatning af syge celler og væv, hvor legemets egne stamceller og reparationsevne ikke slår til. Celle- eller vævsterapi kendes allerede fra transplantation af hud til større forbrændinger, blodtransfusioner ved større blodtab, og transplantation af knoglemarvsceller efter kraftig bestråling, som led i cancerbehandling, eller ved sygdomme i knoglemarven. Den nye viden om stamceller i stort set alle væv har sat kraftig fokus på **regenerativ medicin**, som området kaldes, og givet store forhåbninger om brug af stamceller og legemets egne celler i behandlingen af celle- og vævsskader.

En sådan stamcelle-baseret celleterapi vil have sin primære anvendelse i behandlingen af – ofte livstruende eller svært invaliderende - sygdomme, hvor bestemte veldefinerede og gerne med sikkerhed lokaliserede celler er gået til grunde. Ændringer af vævenes indhold af stamceller og stamcellernes egenskaber ved aldring rejser også spørgsmålet, om stamceller kan anvendes i forebyggelse eller egentlig forbedringer af almindelige fysiologiske forandringer. Som udgangspunkt er det dog i forhold til udviklingen af helt nye behandlinger af en lang række svære eller kroniske sygdomme, at potentialet i stamcelleforskningen og de deraf afledte celleterapi ligger.

Behovet for ny viden

Stamcelleforskningen er endnu i en tidlig udviklingsfase. Der er således stadig megen ny viden, der skal skaffes og afprøves før stamceller vil finde almen anvendelse i sygdomsbehandling. Feltet er dog både herhjemme og internationalt i rivende udvikling med fokus på forhold som:

- Hvordan man kan isolere stamceller
- Hvordan man kan opformere cellerne med fastholdelse af deres potentialer
- Hvordan man kan opbevare cellerne i laboratoriet og til klinisk brug (biobanker)
- Hvordan man kan styre udviklingen af de forskellige ønskede celletyper i laboratoriet og samtidig tilvejebringe det nødvendige antal til forskning og behandling
- Hvordan man får etableret sikre testmodeller til afprøvning af cellernes funktionelle egenskaber, herunder også selve behandlingen med cellerne (transplantation, hvor, hvordan)
- Hvordan man sikrer, at behandlingen i sig selv ikke udgør en helbredsmæssig risiko

Valg af typer af stamceller?

Er embryonale eller voksne stamceller det bedste udgangspunkt for en stamcelle-baseret celleterapi? Ingen kender svaret i dag. Et ordentligt svar kan kun gives, når vi ved mere om begge typer af celler, og derefter vil svaret sandsynligvis afhænge af den sygdom og celleterapi, det drejer sig om.

De **embryonale stamceller** har principielt det største og bredeste potentiale. Gennem nogle få generationer af datterceller er disse celler fra det tidlige fosteranlæg jo netop ophav til alle organismens celletyper og dermed også de forskellige typer af voksne stamceller. På grund af den direkte kobling af de embryonale stamceller til det tidlige fosteranlæg er der etisk begrundede indvendinger mod brugen af disse celler, og det skal bemærkes, at det indtil videre ikke er tilladt at udvikle humane embryonale stamceller i Danmark. I stedet forskes i voksne stamceller og embryonale stamceller fra bl.a. mus og gris. Et andet uafklaret forhold er spørgsmålet om immunologisk forlignelighed mellem modtageren (værten) og de transplanterede celler ved celleterapi baseret på embryonale stamceller.

Voksne stamceller er en anden kilde til celler til celleterapi. Voksne stamceller findes således i varierende antal i de forskellige væv fra det tidspunkt, hvor vævene og organerne er begyndt at dannes, dvs. i 6-8 uger gamle fostre og videre frem hos børn og voksne. Stamceller fra et givet væv, f. eks. umodent hjernevæv fra ca. 8 uge gamle, aborterede fostre, er på dette tidspunkt udspecialiseret i retning af dannelsen af nerveceller og gliaceller (støtteceller) i hjernen og burde således i princippet være nemmere at styre frem mod f. eks. dopamin-producerende nerveceller til behandling af Parkinsons sygdom. Både her og for leverceller, hjertemuskelceller, almindelige muskelceller og knogle- og bruskdannende celler har forskningen gjort fremskridt, men resultaterne er stadig på det eksperimentelle plan. For visse celletyper, som f. eks. de insulin-producerende celler i bugspytkirtlen, synes det svært at isolere og opformere stamcellerne fra selve vævene. Det er også klart, at en person med en given sygdom, hvor en bestemt celletype er ramt (sukkersyge, Parkinsons sygdom og genetiske sygdomme generelt) ikke kan være donor af voksne stamceller (fra det syge væv) til sig selv.

Et påtrængende spørgsmål er, om der blandt de voksne stamceller i vævene findes et meget lille antal stamceller med samme evne som embryonale stamceller til at danne

nye celler fra andre væv, eller om voksne stamceller kan bringes til at skifte linje og danne andre celletyper ved såkaldt **transdifferentiering**. Der er allerede offentliggjort en opdagelse af en tilsyneladende meget umoden og potent celletype i bl.a. bindevævet i knoglemarven. Et endeligt bevis herfor vil gøre voksne stamceller særdeles attraktive som udgangspunkt for udviklingen af flere typer af andre stamceller. Som kilde til voksne stamceller inden for især blod- og bindevævsområdet skal også nævnes navlestrengsblod.

Dannelse af stamceller gennem kernetransplantation

Ved overførsel (transplantation) af en cellekerne fra eksempelvis en voksen bindevævs-celle til en befrugtet ægcelle, hvis egen kerne samtidig fjernes, er det muligt ved særlig behandling at reaktivere gen-materialet (arvemassen) i den voksne cellekerne. Således reprogrammeret erstatter denne cellekerne derefter ægcellens kerne. I den videre udvikling af f. eks. et fosteranlæg fra den kernetransplanterede celle vil det være den oprindelige bindevævscelles arvemasse, der bestemmer og videregives til dattercellerne.

Hvis en sådan kernetransplanteret ægcelle fik lov at udvikle sig i en livmoder til et rigtigt foster, ville der være tale om en (reproduktiv) klon, som f. eks. fåret Dolly. Her kom den transplanterede kerne fra en yvercelle fra et voksent får. Kloning af mennesker er forbudt i Danmark, ligesom i mange andre lande. Det er heller ikke på nuværende tidspunkt tilladt herhjemme at lade klonede fostre fra husdyr komme til fødsel.

Kernetransplantation med henblik på at frembringe embryonale stamceller fra det helt tidlige fosteranlægs indre celle masse (terapeutisk kloning) er imidlertid etisk kontroversielt, men åbner op for nogle nye anvendelsesmuligheder. Embryonale stamceller frembragt på denne måde vil nemlig kunne udstyres med en arvemasse som gør, at cellerne i højere grad end ellers er forlignelige med en aktuel modtager eller en større gruppe af lignende modtagere. De **kernetransplanterede embryonale stamceller** udtages og opdyrkes fra den indre cellemasse af helt tidlige fosteranlæg på samme måde som de regulære embryonale stamceller (se ovenfor), og må på forhånd anses for at have de samme generelle egenskaber og anvendelsesområder som andre embryonale stamceller. De begrænsede resultater indenfor reproduktiv kloning på dyr med nedsat levedygtighed i fosterperioden og efter fødslen, hvor en række celletyper har spillet sammen i længere tid, kompromitterer således ikke på forhånd de biologiske egenskaber af de enkelte cellelinjer, der kan udvikles fra kernetransplanterede embryonale stamceller. Sådanne cellelinjer skal som alle nuværende og kommende humane cellelinjer grundigt afprøves inden terapeutisk brug.

Fremtidige anvendelsesmuligheder

Stamceller rummer potentielt set mange muligheder for behandling af forskellige sygdomme og erstatning af tabte eller defekte celler. Med afsæt i den aktuelle viden om stamceller skal der nedenfor peges på potentielle anvendelsesmuligheder indenfor den regenerative medicin omfattende såvel celleterapi og udvikling af nye organer. En væsentlig kilde til stamceller kan vise sig at være stamcellebanker, hvor eksempelvis det enkelte individ kan gemme egne stamceller.

På flere områder er der som nævnt nogen vej endnu, før forskningen kan komme med afgørende viden til at stamcellerne kan anvendes i behandling, men måske også til egentlig forebyggelse eller forbedringer.

Stamcelle-baseret celleterapi

Perspektiverne for medicinsk behandling ved hjælp af eksempelvis transplantation af stamceller eller mere specialiserede celler udviklet fra stamceller synes meget lovende. Den grundlæggende ide er, at sygdomme som involverer ødelagte eller nedbrudte celler kan afhjælpes eller kureres ved at indføre nye stamceller i det pågældende organ eller ved at tilføje særlige vækstfaktorer, som beskytter og stimulerer vævets stamceller til dannelse af nye celler. Denne form for celleterapi er velkendt og anvendes f. eks., når stamceller fra knoglemarven benyttes til genetablering af dannelsen af blodets celler efter kræftbehandlinger, f.eks. leukæmi, ligesom erythropoetin (EPO) gennem tilførslen stimulerer de bloddannende stamceller i knoglemarven.

På internationalt plan er der med transplantation af umodent hjernevæv fra aborterede fostre til Parkinson patienter og indledningsvis også patienter med Chorea Huntington ført bevis for det behandlingsmæssige princip ("proof of concept"), ligesom der er fundet normalisering af blodsukkerregulering ved transplantation af insulin-producerende celler til patienter med type 1 diabetes. I relation hertil foregår der i Danmark frontforskning inden for behandling af type 1 diabetes, hvor eksperimentelle resultater tyder på, at embryonale stamceller kan have et helt særligt potentiale. Lignende forskning foregår inden for udviklingen af stamceller og cellelinier til brug i celleterapeutisk behandling af Parkinson patienter, og inden for knogle-bindevævsområdet.

Stamcelle-baseret organdyrkning

En af visionerne omkring stamceller er, med stamceller som grundlag, at udvikle hele, funktionsdygtige organer egnet til transplantation. Visionerne har indtil videre taget afsæt i "dyrkning" af nye organer og organdele ud fra stamceller fra voksne individer.

I øjeblikket synes forskerne at være kommet ganske langt med at isolere stamceller og delvist uddifferentierede celler fra væv og fra disse celler at opdyrke forskellige vævskomponenter til nye organer. Det er således lykkedes at etablere organlignende vævskulturer af menneskelever, menneskeblære, hud og ledbrusk. Konkrete transplantationsforsøg af fremdyrket vævs- og organmateriale til mennesker synes på det grundlag nært forestående. Hensigten er bl.a. at frembringe ny hud til at dække større defekter over brandsår eller traumatiske beskadigelser, stykker af blærevæg til dækning af defekter efter canceroperationer og strålebehandling eller defekter i selve udviklingen af blære og urinveje, erstatning af levervæv efter svære traumer, forgiftninger og virusinfektioner, samt erstatning af brusk og knogledefekter i led og i knogler med dårlig opheling. Når det gælder tilsvarende vævs- og organmateriale for dyreorganer er man nået længere med de funktionelle forsøg. Det skyldes en naturlig bredere adgang til forsøg på dyr end på mennesker, og at organerne generelt er mindre og ofte mindre komplicerede hos dyr, ligesom der er biologiske forskelle i vævenes regenerationsevne mellem arterne. Regeneration af nervebaner efter transplantation af øjenanlæg lader sig således indtil nu kun gøre på frøer og fisk, men ikke pattedyr.

Metoden til dyrkning af væv eller hele organer ud fra stamceller består i at isolere de pågældende stamceller fra vævene, opformere dem og derefter med forskellige kombinationer af stoffer eller gennem vekselvirkning med andre celler at få dem til at udvikle sig til den type celle, man har brug for. Rent praktisk er der udviklet en metode, hvor de dyrkede stamceller bliver placeret rundt omkring på et kunstigt 'skelet' eller 'stillad' af nedbrydeligt materiale. Stilladset bevirker, at det nye organ tager den ønskede form, og at de forskellige celletyper kan integreres med hinanden, hvorefter stilladset med tiden nedbrydes af sig selv.

En væsentlig fremtidig udfordring inden for organdykningsvidenskaben er at udvikle de rette materialer til opbygning af ”stilladserne”, hvor forudsætningerne bl.a. er lighed med organisk materiale i overflade og formbarhed samt evne til nedbrydelighed.

Stamcellebanker og biobanker

Adgang til tilstrækkeligt stamcelle-materiale og velkarakteriserede stamcelle-baserede cellelinjer er en afgørende faktor for en bredere anvendelse af stamceller til behandling. Adgang til embryonale stamceller fra de tidlige fosteranlæg er relativt begrænset og behæftet med etiske overvejelser. Adgang til ”voksne” stamceller i væv fra aborterede fostre er allerede reguleret herhjemme, men vil til en hver tid være afhængig af antallet af abortsøgende og deres samtykke. Stamceller fra navlestrengsblod giver en bredere ressourcebase i hvert fald inden for blod- og bindevævsdannende stamceller, men stiller også krav til systematisk indsamling og opbevaring. Voksne stamceller fra det enkelte individ er med samtykke i princippet frit tilgængelige, og metoderne til at isolere og opformere disse celler fra forskellige væv er under kraftig udvikling. For visse typer af væv, såsom hjernevæv, er det dog urealistisk at forestille sig, at celler kan erhverves fra personer i levende live i andet end sporadisk omfang.

Ved at etablere og samle stamceller i større ”stamcellebanker” vil man både kunne gemme og akkumulere stadig større mængder af stamceller, etablere en ressource- og vidensbank til hjælp til den videre forskningsmæssige karakterisering og videreudvikle de stamcellelinjer, som leveres til ”stamcellebanken”. Teknisk synes der ikke at være noget problem i at opbevare stamceller i nedfrosset tilstand. Teknikken er almindelig kendt og anvendes bredt for disse og andre tilsvarende celler. Spørgsmålet er mere efter hvilke kriterier stamceller skal ”sættes” i bankerne, og hvem der har adgang til at ”hæve” en eller flere prøver af stamceller. Generelt kan man sige, at oprettelsen af en ”stamcellebank” uden tilknyttet forskningsmulighed på de opbevarede celler og cellelinjer ikke har stor mening, da kun forskningen i stamceller kan påvise og sikre deres potentiale, – og dermed deres senere anvendelse. Opbevaring af stamceller fra enkeltpersoner i en stamcellebank er kun at betragte som en ”forsikring”, hvis der samtidig forskes i cellerne og udvikles behandlingsmetoder til deres anvendelse.

Private stamcellebanker

Som ”gave” til sit nyfødte barn kan man allerede nu oprette en konto i en stamcellebank, hvor barnets navlestrengsblod opbevares til eventuel senere brug. Navlestrengsblod er således en vigtig kilde til stamceller, som ikke blot matcher det enkelte individ, men det rummer også færre etiske problemer end anvendelse af embryonale stamceller fra det tidlige fosteranlæg.

I USA findes flere specialiserede navlestrengsbanker, og i 1997 blev en navlestrengsbank åbnet i Tyskland. Den tyske bank er godkendt af de tyske sundhedsmyndigheder. I Danmark er der ingen private stamcellebanker, men et privat firma har indtil for nylig tilbudt at modtage navlestrengsblod fra danske børn og arrangere, at det blev opbevaret i den tyske stamcellebank. Denne ydelse blev tilbudt på rent kommercielle vilkår, og det kostede ca. kr. 15.000 for opbevaring af navlestrengsblod i 20 år.

Offentlige stamcellebanker

Den første egentlige offentlige stamcellebank bliver etableret i Storbritannien i september 2002, se tekstboks B.3. Det umiddelbare perspektiv for stamcellebanken er at indsamle og vedligeholde stamceller og stamcellelinjer til forskningsmæssigt brug. Stamcellebanken skal tillige ses i lyset af, at Storbritannien har ændret sin lovgivning om brug af stamceller.

Tekstboks B.3: Europas første stamcellebank i UK

I september 2002 annonceredes åbningen af den første stamcellebank i Storbritannien, som skal være en enkeltstående institution for opbevaring af alle stamcellelinjer udviklet i Storbritannien. Banken skal administreres af det uafhængige National Institute for Biological Standards and Control.

På sigt åbner den offentlige stamcellebank også op for, at alle - og ikke kun de, som har været forudseende - kan behandles med stamceller fra banken. Med andre ord er der her taget både et teknisk, men også et bredere sundhedsmæssigt initiativ.

I Danmark findes Biologisk Bank Danmark med tilknytning til Laboratorium for Stamcelleforskning ved Aalborg Universitet og associeret med Dansk Center for Stamcelleforskning. Banken startede som en forsøgsordning under navnet Biologisk Bank Fredericia, og der arbejdes nu på aktivering af "banken", sandsynligvis som en forsøgsordning i regi af Nordjyllands Amt og Aalborg Universitet.

Bio-elektronik

Bio-elektronik er forskning i grænsefladerne mellem menneske og maskine eller mere præcist, mellem biologisk materiale og elektroniske systemer. Bio-elektronik kan opfattes som en fusion af to specialer:

- Elektronik (specielt mikro- eller nano-elektronik)
- Biomolekylære, eller biocellulære væv

Tekstboks B.4: Potentielle muligheder inden for bio-elektronik

Bio-elektronik i nanoskala

- Nano-robotter
- Biologiske computere
- Biosensorer
- Biochips

Elektroniske implantater

- Implantater der kan kommunikere med nerver
- Kunstig nerverestimulering
- Kunstige følesanser
- Kunstige organer

Kilde: Oxford Group, 2003

