әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Химия және химиялық технология факультеті
Органикалық заттар , табиғи қоспалар мен полимерлер
химиясы және технологиясы кафедрасы

«Биотехнология және биоинженериядағы полимерлер» пәні бойынша

10 дәріс. Тіндік инженерияның негіздері. Тіндік инженериядағы полимерлер

PhD, қауымд.проф. Махаева Данэля Нурлановна

Дәрістің мақсаты, міндеттері және жоспары

Дәрістің мақсаты

Тіндік инженерияның ғылыми негіздерін, жасушалар мен биоматериалдық матрицалардың рөлін, полимерлер негізіндегі тірек құрылымдарды және жасанды/гибридті мүшелерді жасаудағы полимерлердің қолданылуын түсіндіру.

Дәрістің жоспары

Тіндік инженерия ұғымы және негізгі әдістері.

Жасушалар, биоматериалдар және полимерлік матрицалар.

Тіндерді регенерациялау мысалдары және жасуша түрлері.

Жасанды мүшелердің дамуы және оларға қойылатын талаптар.

Жасанды бүйрек, өкпе, көз, есту жүйесі және гибридті мүшелер.

Жасанды мүшелерде қолданылатын полимерлік материалдар.

Міндеттері

Тіндік инженерия кезеңдерін сипаттау; матрицаға қойылатын талаптарды түсіндіру; жасуша мен полимердің бірлескен қызметін талдау; жасанды мүшелерге арналған материалдарды салыстыру.

Тіндік инженерия: ұғымы мен негізгі мақсаты

Тіндік инженерия — зақымдалған мүшелер мен тіндерді қалпына келтіру үшін жасушаларды, тірек құрылымдарды, молекулалық және механикалық сигналдарды біріктіріп, жаңа тін құруға бағытталған сала.



Негізгі мақсат

Тек синтетикалық материалмен алмастыру емес, тіннің биологиялық және метаболикалық қызметін, соның ішінде регенерациясын қалпына келтіру.

Негізгі компоненттер

Жасушалар + биосәйкесті матрица (scaffold) + биомолекулалар/өсу факторлары + механикалық сигналдар.

Тіндік инженерияның негізгі тәсілдері

Дәстүрлі жасуша–матрица тәсілі

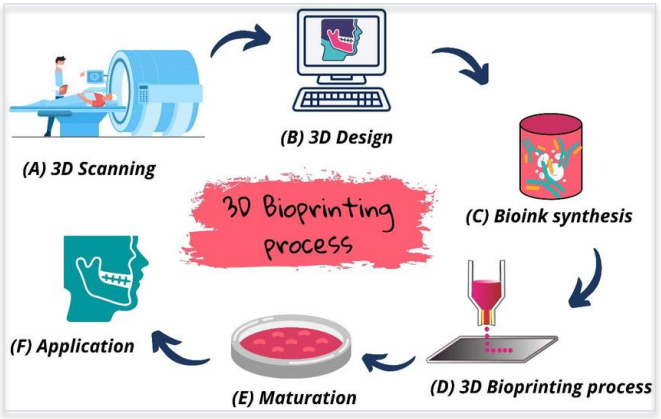
Жасушалар бөлініп алынады, көбейтіледі, кеуекті 3D матрицаға отырғызылады және биореакторда өсіріледі. Дайын құрылым зақымдалған аймаққа енгізіледі.

3D-биопринтинг

Жасушалар мен биоматериалдар қабат-қабат орналастырылып, үш өлшемді жасушалық құрылым жасауға мүмкіндік береді.

Табиғи органогенезді имитациялау

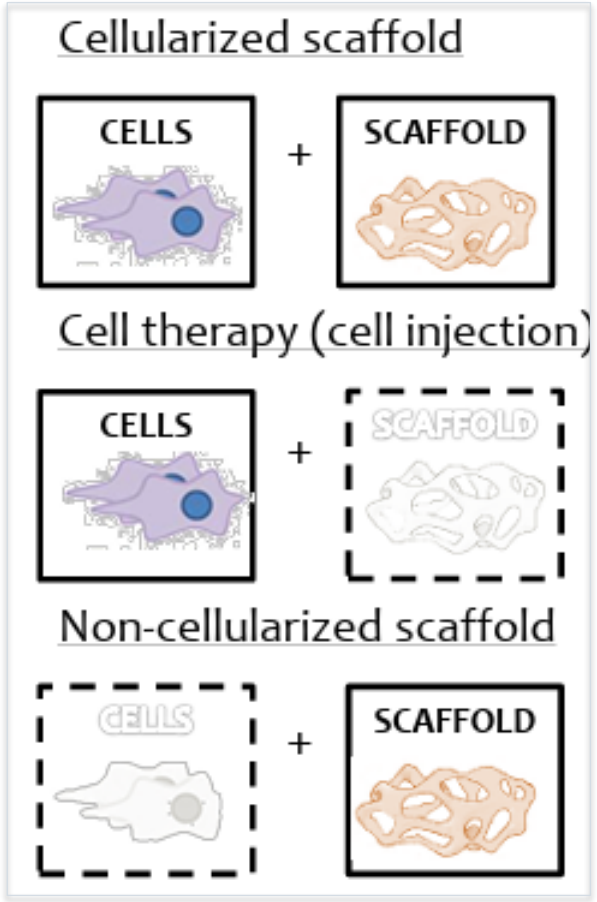
Жасушалар биосәйкесті матрицаға енгізіліп, арнайы биореактор жағдайында өсіріледі; мақсат — табиғи мүшенің қалыптасу үдерістеріне ұқсас жағдай жасау.



Дәстүрлі тәсіл: тіндік инженерия кезеңдері

Кезең	Не орындалады?	Маңызы
1. Жасушаларды бөліп алу	Науқастың немесе донордың тінінен тірі жасушалар алынады.	Жасушаның көзі мен бастапқы күйі регенерация тиімділігіне әсер етеді.
2. Жасушаларды көбейту	Арнайы қоректік ортада жасушалар өсіріледі.	Қажетті жасуша санын жинақтау.
3. Матрицаға отырғызу	Жасушалар 3D кеуекті тасымалдағышқа орналастырылады.	Механикалық, химиялық және биологиялық қасиеттері тін түріне сәйкестендіріледі.
4. Биомолекулалар қосу	Өсу факторлары және басқа биоактивті молекулалар енгізіледі.	Жасушалардың өсуі мен дифференциациясын ынталандыру.
5. Биореакторда өсіру	Жасушалар көбейіп, жасушааралық матрикс бөледі.	Тіннің қалыптасуы мен құрылымының жетілуі.
6. Имплантация	Дайын биоинженерленген құрылым зақымдалған аймаққа енгізіледі.	Қалпына келтіруді бастау.
7. In vivo ремоделдеу	Ағза ішінде тасымалдағыш біртіндеп ыдырап, жаңа тін қалыптасады.	Жаңа тіннің қоршаған тіндермен бірігуі.

Жасуша мен матрицаны біріктірудің үш стратегиясы



Жасушаланған матрица

Жасушалар дайын scaffold-қа отырғызылып, биореакторда өсіріледі; кейін имплантациядан соң in vivo ремоделдеу жүреді.

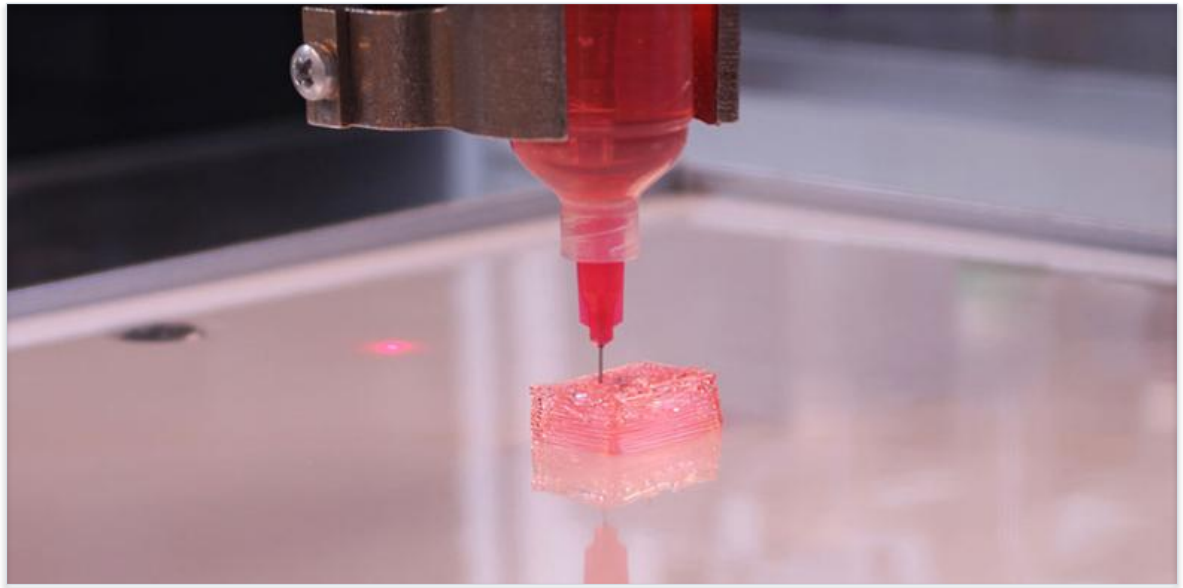
Жасушалық терапия

Жасушалар тасымалдағышсыз тікелей зақымдалған аймаққа енгізіледі; жасушалардың тірі қалуы мен дұрыс орналасуы қиын болуы мүмкін.

Жасушасыз матрица

Алдын ала жасуша енгізілмеген биосәйкесті және биодеградацияланатын scaffold қолданылады; ағзаның өз жасушалары құрылымға енеді.

3D-биопринтинг: мүмкіндіктері мен шектеулері



Технологияның мәні

3D-биопринтинг — жасушалардың функциялары мен өміршеңдігін сақтай отырып, жасушаларға негізделген үш өлшемді модельдерді қабат-қабат басып шығару технологиясы.

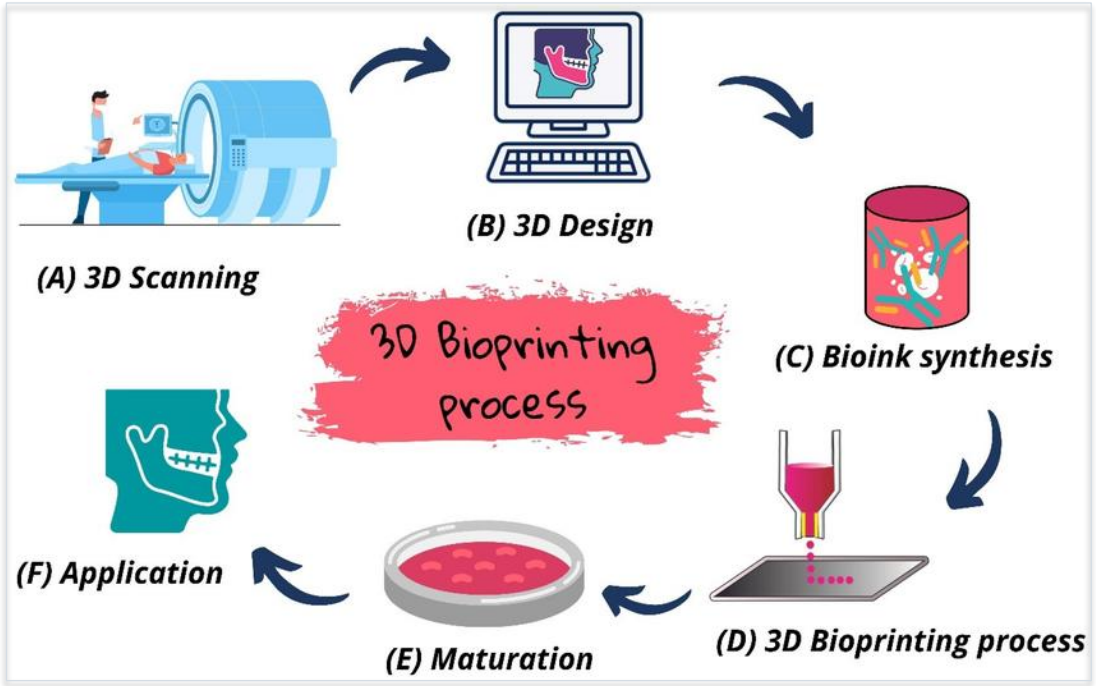
Артықшылықтары

Тін құрылымдарын жасау; протездеу мен трансплантацияға балама іздеу; донор органын күту уақытын қысқарту әлеуеті.

Шектеулері

Жабдық құнының жоғарылығы; басылатын құрылым көлемі мен биосияпатты шикізатқа шектеулер.

Табиғи органогенезді имитациялау



1. Жасуша көзін таңдау

Науқастың өз жасушалары немесе донорлық жасушалық материал таңдалады және өсіріледі.

2. Матрица дайындау

Биологиялық үйлесімді материал негізінде жасушаларға арналған тасымалдағыш жасалады.

3. Жасушаларды өсіру

Жасуша культурасы матрицаға енгізіліп, арнайы биореакторда көбейтіледі.

4. Трансплантатты орналастыру

Құрылым зақымдалған аймаққа енгізіледі немесе микроциркуляция қалыптасуы үшін қанмен жақсы қамтамасыз етілген жерге орналастырылады.

Тіндік инженерияға арналған матрицаға қойылатын талаптар

Матрица (scaffold) — жасушалардың бекінуі, өсуі және жаңа тіннің қалыптасуы үшін кеңістік пен құрылымдық тірек беретін материал.

Қолданудың қарапайымдылығы

Матрицаны қажетті пішінге келтіру және қолдану ыңғайлы болуы.

Резорбция

Жаңа тін қалыптасқан кезде материалдың біртіндеп ыдырап/сіңірілуі.

Төмен антигенділік

Иммундық жауапты барынша азайту.

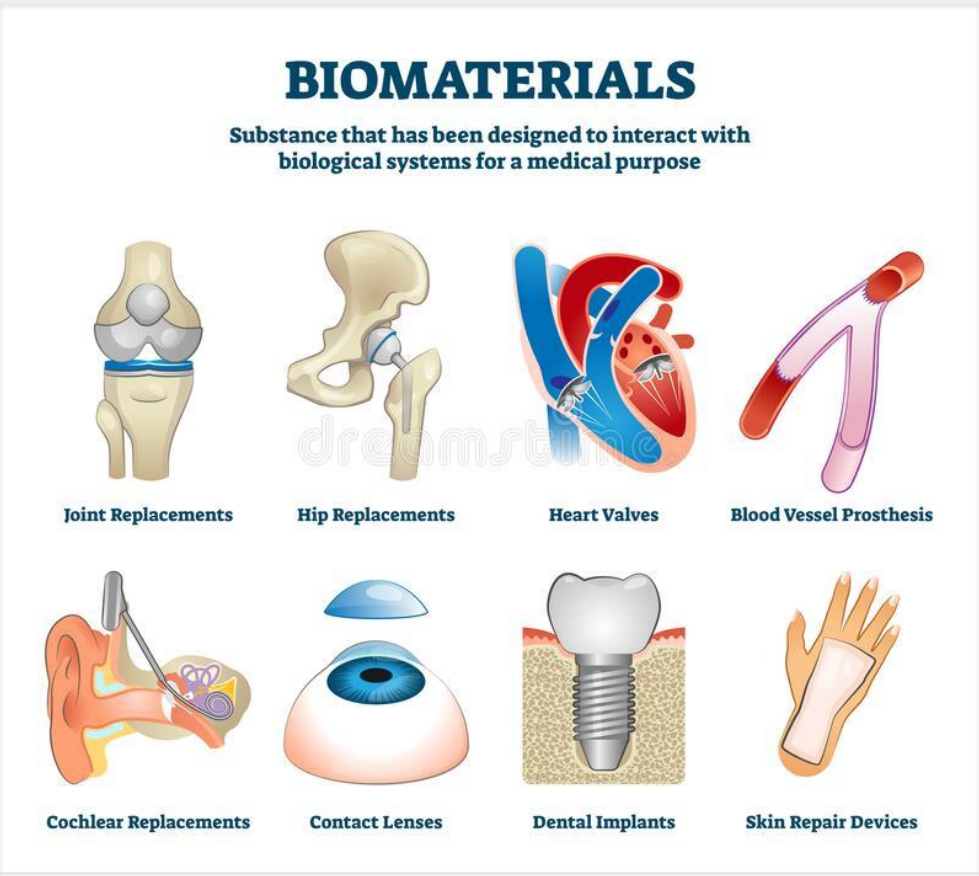
Қабынуды тудырмау

Тінмен үйлесімді әрекеттесу.

Улы өнім бөлмеу

Ыдырау кезінде ағзаға зиянды өнімдер шығармау.

Тіндік инженерияда қолданылатын биоматериалдардың жіктелуі



Табиғи материалдар

Коллаген, альгинат және басқа табиғи полимерлер.

Ацеллюлярлы жасушалық матрикс

Қуық қабырғасы немесе аш ішек шырышты қабаты сияқты тіндерден жасушаларды алып тастау арқылы алынатын матрица.

Синтетикалық полимерлер

Полигликоль қышқылы (PGA), полилактид (PLA), полилактид-гликолид сополимерлері (PLGA) және басқа полимерлер.

Табиғи биоматериалдар: коллаген және альгинат

Коллаген

• Тіндік инженерияда қолданылатын табиғи ақуыз.
• Дәріс материалында төмен уыттылығы мен антигенділігі, жоғары механикалық беріктігі негізгі артықшылықтары ретінде берілген.
• Гидрогель және кеуекті матрица жасауға қолданылады.

Альгинат

• Теңіз балдырларынан алынатын полисахарид.
• Гель тәрізді қасиетке ие; кальций иондары қатысында жасушаларды бекітетін матрица түзе алады.
• Жасушаларды инкапсуляциялау мен тасымалдағыш дайындауда қолданылады.

Ацеллюлярлы матрица және синтетикалық полимерлер



Ацеллюлярлы матрица

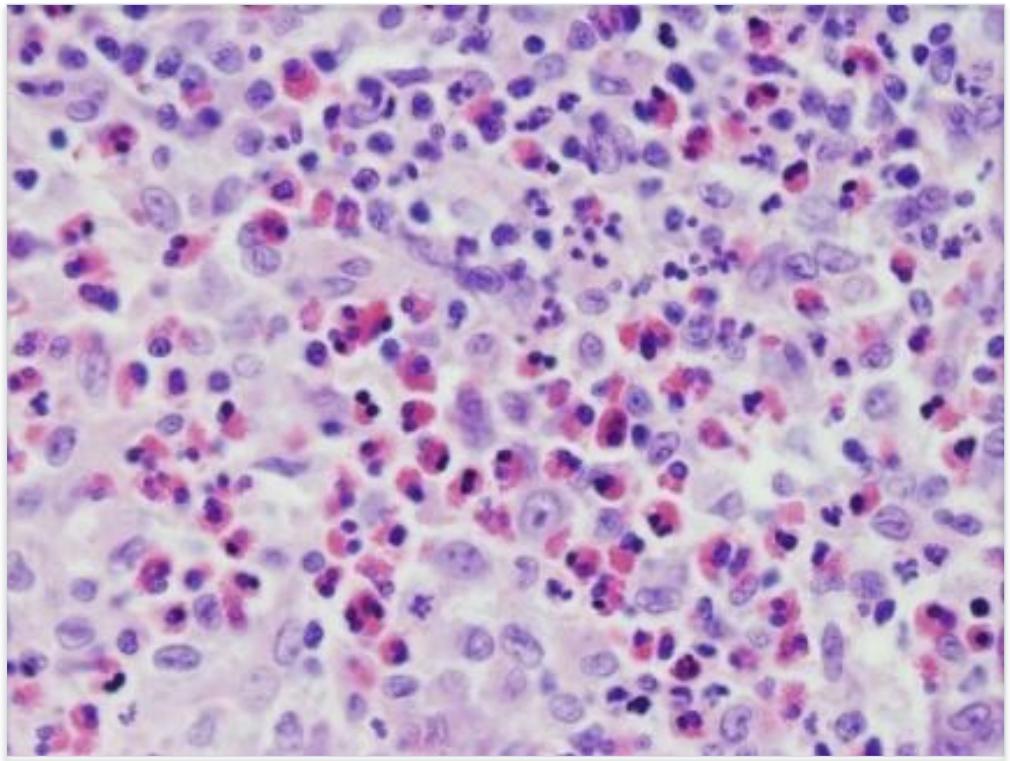
Тіннен жасушаларды, көбіне қуық қабырғасынан, алып тастау арқылы дайындалады. Биомеханикалық қасиеттері бастапқы тінге жақын болғандықтан, қуық пен уретра ақауларын жабуда қолдануға жарамды.

Синтетикалық полимерлер

PGA, PLA және PLGA сияқты материалдар белгілі бір пішінге келтірілуі мүмкін. Дәріс материалында синтетикалық сіңірілетін тігіс өндіру үшін FDA мақұлдаған материалдар туралы айтылған.

Матрицаның құрамы мен кеуектілігі жасушалардың бекінуіне, қоректік заттардың диффузиясына және тіннің жетілуіне әсер етеді.

Тіндік инженерияда қолданылатын жасушалар



Дифференцияланған жасушалар

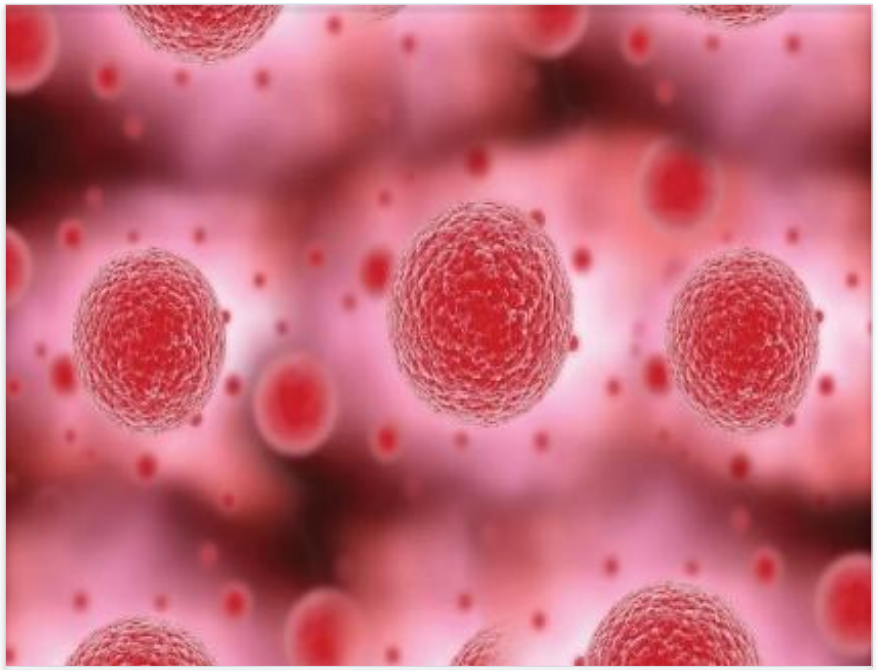
Донор ағзасынан белгілі бір тіннің жетілген жасушалары ретінде тікелей алынуы мүмкін. Дәріс материалында әртүрлі мүшелер жасушалары мен лимфоциттер мысал ретінде аталған.

Өсіру кезіндегі ерекшелік

Кейбір жасуша түрлері культурада өсірілгенде дифференцияланған күйін жоғалтып, дедифференциацияға ұшырауы мүмкін.

Дің жасушалары: қасиеттері және негізгі түрлері

Дің жасушалары — арнайы биологиялық сигналдардың әсерінен бөліну, өзін-өзі жаңарту және әртүрлі мамандanған жасушаларға дифференциялану қабілеті бар дифференцияланбаған жасушалар.



Ересек (adult) дің жасушалары

Ересек ағзаның тіндерінде кездеседі және тиісті тіннің жасушаларын жаңартуға қатысады.

Эмбриональды дің жасушалары

Эмбриональды даму кезеңінен алынатын жасушалар; әртүрлі мамандanған жасушаларға дифференциялану әлеуетімен сипатталады.

Тіндерді өсіру мысалдары: тері және тіс





Тері

Дәрісте күйік, хирургиялық ақаулар және тері аурулары кезінде сау терінің қызметін атқара алатын зертханада өсірілген адам терісі туралы мысал келтірілген.

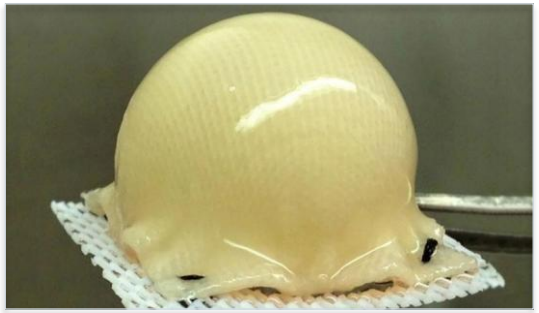
Тіс

Жапон зерттеушілерінің мысалында дің жасушаларынан эмаль, дентин және пульпа жасушалары бар тіс ұрығы өсіріліп, тышқанның жақ сүйегіне имплантацияланған. Дәрісте тістің қалыптасуы мен шайнау функциясының қалпына келуі сипатталады.

Сүйек және шеміршек тіндерін қалпына келтіру







Сүйек

Дәрісте тірекке отырғызылған дің жасушаларынан самай-төменгі жақ буынына ұқсас сүйек фрагментін алу және май тінінен алынған жасушалар арқылы сүйек өсіру мысалдары келтірілген.

Шеміршек

3D-баспа арқылы жасалған коллагенді биошаблонға жасушаларды тартатын молекулалық сигналдар енгізілген. Дәрісте қояндарда буын шеміршегінің қалпына келуі және шеміршектің механикалық/матрикстік құрамын аймақ бойынша реттеу мысалдары берілген.

Басқа тіндерді қалпына келтіру мысалдары

Тін / құрылым	Дәрісте келтірілген мысал	Полимерлік/биоматериалдық рөл
Құлақ	Шеміршек жасушаларынан құлақ пішінді құрылым өсіру; кейін науқасқа арналған құлақ құрылымын жасау мысалдары.	Шеміршек жасушаларын ұстайтын құрылымдық матрица.
Бұлшықет	Фибрин ақуызынан жасалған микрофиламенттерді бұлшықет жасушаларымен қаптап, тышқандағы үлкен ақауды қалпына келтіру.	Фибриндік микрофиламенттер жасуша өсуіне тірек болады.
Қан	Дің жасушаларынан өсірілген жасанды қанның еріктілерде сыналғаны туралы мысал.	Жасушалық компоненттерді өсіру және дайындау.
Сүйек кемігі	Гемопоэтикалық дің жасушалары мен B-лимфоциттерді алуға арналған жасанды сүйек кемігі құрылымы.	Жасушаларды ұстайтын 3D микроорта.
Трахея	Донорлық коллаген талшықтарынан жасалған тірекке жасушалар отырғызылып, трахея трансплантациясы сипатталған.	Коллагенді тірек құрылымы.

Бұл мысалдар дәріс материалында тіндік инженерияның әртүрлі мүшелер мен тіндерге қолданылуын көрсету үшін берілген.

Ішкі мүшелер мен жүйелердің тіндік инженериясы

Мүше / тін	Дәрісте келтірілген зерттеу мысалы	Қалыптастырылатын құрылым/жасушалар
Қуық	Пациенттің өз жасушаларынан қуық өсіру жұмыстары.	Қуық тінінің жеке жасушаларынан биоинженерленген құрылым.
Бауыр	Зертханада өсірілген бауыр құрылымдарын егеуқұйрықтарға көшіру мысалы.	Бауыр жасушалары (гепатоциттер).
Өкпе	Донорлық жасушадан тыс матрица өкпе эпителийі және қан тамырлары жасушаларымен толтырылған.	Өкпе матрицасы, эпителий және эндотелий жасушалары.
Жүрек	Дің жасушаларын пайдаланып жүрек тінінің бөлігі мен жүрек қақпақшасына ұқсас құрылым өсіру.	Жүрек жасушалары және жүрек тінінің патчтары.
Ішек	Индукцияланған плюрипотентті дің жасушаларынан тышқан ішек фрагментін алу.	Бұлшықет және жүйке жасушалары бар ішек құрылымы.
Уретра / простата	Пациенттің өз тінінен уретра өсіру және эмбриональды жасушалардан простата өсіру мысалдары.	Уретра және қуықасты безі тіндерінің жасушалары.
Көз	Көз алмасы, қасаң қабық және көпқабатты торлы қабық өсіруге қатысты зерттеу мысалдары.	Көздің әртүрлі арнайы тіндері.
Жүйке / гипофиз	Тіндік жасушалардан үш өлшемді гипофиз құрылымын және нейрондық желі фрагментін өсіру мысалдары.	Эндокриндік және жүйке жасушалары.

Мысалдар бастапқы дәріс материалындағы зерттеу сипаттамалары бойынша жинақталды.

Жасанды мүшелер: қолданылуы мен қажеттілігі



Негізгі міндеті

Донорлық мүшелердің жетіспеушілігі жағдайында ағза қызметін уақытша немесе ұзақ мерзімге алмастыруға көмектесу.

Уақытша қолдау

Кейбір құрылғылар науқасқа донорлық органды күту немесе ағза функциясы қалпына келу кезеңінде уақытша көмек береді.

Тіндік инженериямен байланысы

Жасушалар мен полимерлік материалдарды біріктіретін гибридті жүйелер жасанды мүше тұжырымдамасын кеңейтеді.

Жасанды мүшелердің даму тарихы: дәрісте келтірілген кезеңдер

1925	С. Брюхоненко мен С. Чечулин жүрек қызметін алмастыратын стационарлық құрылғымен тәжірибе жүргізді.
1936	С. Брюхоненко өкпе қызметін алмастыратын оксигенатор жасады.
1937	В. Демихов имплантацияланатын жүректің алғашқы прототипін жасап, итте сынады.
1943	В. Колф алғашқы гемодиализ аппаратын — жасанды бүйректің ерте үлгісін жасады.
1969	Д. Лиотта мен Д. Кули адам ағзасына имплантацияланатын жасанды жүректі сынақтан өткізді.
2007–2008	Дәріс материалында жасанды өкпемен 117 күн өмір сүру және жүрек-өкпе қызметін 16 күн қолдау мысалдары келтірілген.

Тарихи даталар мен оқиғалар бастапқы презентацияда берілген деректер негізінде сақталды.

Идеал жасанды органға қойылатын талаптар

Идеал органның сипаттамалары

- Адам ағзасына енгізуге жарамды болуы.
- Қоршаған ортамен қажетсіз байланысы болмауы.
- Жеңіл, берік және биоүйлесімді материалдан жасалуы.
- Ұзақ мерзімді жүктемелерге төтеп беруі.
- Табиғи мүшенің негізгі функцияларын имитациялауы.

Артықшылықтары

Донорлық органды күту кезінде өмірді қолдау; жоғалған немесе туғаннан қызмет етпейтін мүшені алмастыру; протездер мен имплanттар арқылы функцияны қалпына келтіру.

Шектеулері

Жаңа жасанды мүшені енгізудің биологиялық және хирургиялық қаупі; жоғары құны; кейбір бағыттарда технологиялық дамудың жеткіліксіздігі.

Ішкі протездеуде және жасанды мүшелерде қолданылатын полимерлер

Полимерлік материал	Дәрісте көрсетілген қолданылу аймақтары
Төмен тығыздықтағы полиэтилен	Дене тіндерімен жанасатын бұйымдар.
Поликапролактам (капрон)	Протездік-ортопедиялық бұйымдар, хирургиялық жіптер және тіндермен жанасатын өнімдер.
Поликарбонат	Жасанды қарыншалар мен кардиостимуляторлардың корпустары және бөлшектері.
Политетрафторэтилен (фторопласт-4)	Қан тамырлары протездері, жүрек қақпақшалары және реконструкциялық хирургия бұйымдары.
Полипропилен	Жасанды жүрек қақпақшасының бөліктері және тамыр протездері.
Полиэтилентерефталат (лавсан)	Торлар, хирургиялық жіптер, тамыр протездері, байламдар мен сіңірлерге арналған таспалар.
Полиметилметакрилат (ПММА)	Кератопротездеу, жасанды бүйрек және жүрек-өкпе аппараттарының бөлшектері.
Кремнийорганикалық каучук	Ішкі протездеу және жасанды мүше құрылғыларының бөліктері.
Цианоакрилатты желім	Хирургиялық операцияларда дене тіндерін біріктіру.

Жасанды бүйрек: диализ және полимерлік мембраналар



Диализ принципі

Диализ — диффузия мен сүзу процестеріне негізделген. Қаннан мочевина және кейбір артық еріген заттар шығарылады.

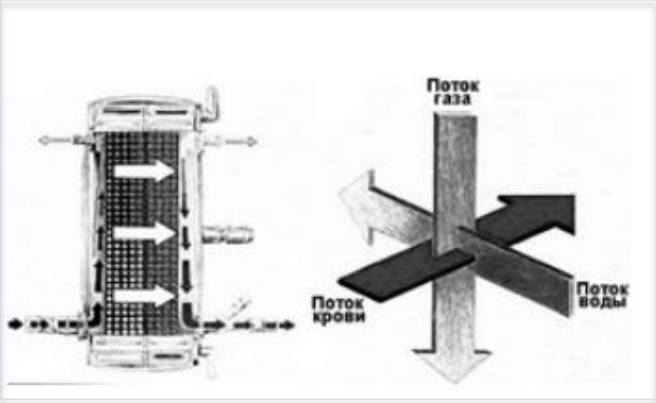
Диализатор мембранасы

Су мен полярлы еритін заттарға өткізгіштігі жоғары болуы қажет. Материалдар: целлюлоза туындылары, полисульфон талшықтары, PMMA және поликарбонат.

Шектеуі және режимі

Табиғи бүйрек пайдалы заттарды қайта сіңіреді, ал диализ бұл қызметті толық қайталамайды. Бастапқы дәрісте аптасына 3 рет, бір сеанс 5–6 сағат деп берілген.

Жасанды өкпе және оксигенаторлар





Газ алмасу қызметі

Өкпеде альвеолалар арқылы оттегі қанға өтеді, көмірқышқыл газы сыртқа шығарылады. Операция кезінде оксигенаторлар қанның оттегімен қанығуын және газ алмасуын қамтамасыз етеді.

Оксигенатор түрлері

Көпіршікті, мембраналық және кеуекті жүйелер.

Полимерлік материалдар

Силоксандар, полипропилен және силикон. Мембрана газ өткізгіштігі мен қанмен үйлесімділігіне қарай таңдалады.

Оксигенатор мембраналары: материал қасиеттерінің маңызы

Қанның оттегімен қанығу тиімділігі мембраналық материалдың газ өткізгіштігіне тәуелді. Бастапқы дәрісте келесі салыстырмалы көрсеткіштер берілген:

Материал	Dα көрсеткіші	Газ алмасу тиімділігі
Целлюлоза	≈25	≈18
Силоксан	≈1000	≈5
Полиэтилен	≈12	≈3

Көру мүшелерінің протездері және көзішілік линзалар





Орбиталық көз протездері

Бастапқыда шыныдан, кейін полиметилметакрилаттан (PMMA) жасалған. Полимер қолдану протез салмағын азайтып, көз бұлшықеттеріне бекітілетін жылжымалы құрылымдар жасауға мүмкіндік берді.

Көзішілік линзалар

Бұлдырланған көз бұршағы орнына имплантацияланады. Дәрісте PMMA, модификацияланған кремнийорганикалық материалдар, винилпирролидон сополимерлері және акрилат–коллаген композициялары аталған.

Глаукомада сұйықтық ағуын қамтамасыз ететін дренаждық имплланттарда силикон түтіктері, кеуекті PTFE және коллаген материалдары қарастырылады.

Есту мүшесін реконструкциялау және кохлеарлық имплант



Есту бұзылыстарының түрлері

Өткізгіштік; нейросенсорлық; орталық. Олар сыртқы/ортаңғы құлақ, кохлея/сенсорлық жасушалар немесе есту жүйкесі мен ми бағаны зақымдалғанда байқалады.

Кохлеарлық импланттың бөліктері

1) Құлақ артындағы микрофон мен дыбыс процессоры; 2) ішкі имплант; 3) электродтар кешені.

Bioglass®

Дәрісте биоактивті байланыс түзетін ортаңғы құлақ импланты ретінде берілген; құрамы Na_2O, P_2O_5, CaO және SiO_2 компоненттерінен тұрады.

Гибридті бауыр және гепатоциттерді полимерде иммобилизациялау



Гибридті бауырдың мақсаты

Қанды детоксикациялау қызметін қолдау. Дәрісте зақымдалған бауырды тіндік инженерия арқылы алынған жасанды тінмен алмастыру және дің жасушаларын имплантациялау бағыттары берілген.

Полимерлік тасымалдаушылар

• Гепатоциттерді альгинат немесе агароза микро-/макрокапсулаларына енгізу.
• Коллаген гелі және коллагенмен модификацияланған сүт/гликоль қышқылы сополимерлері.
• Поливинилформальдегид кеуекті түйіршіктері және Plasmaphan жартылай өткізгіш қуыс талшықтары (кеуек диаметрі ≈0,5 мкм).

Жасанды ұйқы безі және β-жасушаларды инкапсуляциялау



Инсулин жеткізуді басқару

Дәрісте көрсетілген жүйе үш бөліктен тұрады: теріге орнатылған глюкоза сенсоры, ақпаратты талдайтын портативті басқару құрылғысы және инсулин енгізетін шағын сорғы.

Гибридті β-жасушалық жүйелер

• 100–800 мкм микрокапсулалар және диффузиялық камералар.
• Жасушалар көздері: шошқа, ірі қара, қоян ұйқы безі; сирек жағдайда адам ұрығы мен жаңа туған нәресте тіндері (дәрістегі дерек).
• Матрицалар: агароза, целлюлоза сульфаты, полиакрилаттар, альгинат–поли-L-лизин кешендері, PEG.
• Мембраналар: сегменттелген полиэфир-уретандар, силоксан сополимерлері, полисахаридтер және полиэтилен гидрогельдері.

Басқа жасанды және гибридті мүшелер

Гибридті орган	Биологиялық компонент	Синтетикалық компонент
Жасанды ұйқы безі	Ұйқы безі аралшық жасушалары	Полимерлі капсула
Жасанды бауыр	Гепатоциттер	Полимерлі капсула/матрица
Жасанды өңеш	Шырышты тін жасушалары	Силикон түтік
Жасанды қан тамыры	Эндотелий жасушалары	Кеуекті PTFE
Жасанды нейрон	Нейрондар	Өткізгіштер
Жасанды шеміршек	Хондроциттер	Полимерлік негіз
Жасанды эритроцит	Гемоглобин	Полимерлі капсула

Иіс сезу жүйесі
Электрондық сигналға айналдыратын бионикалық құрылғылар жасалған.

Көмей протезі
Т-тәрізді клапанды протез трахея мен өңешті байланыстырып, ауаның өтуіне мүмкіндік береді.

Қорытынды

Тіндік инженерия жасушаларды, биосәйкесті матрицаларды және молекулалық/механикалық сигналдарды біріктіріп, жаңа тін қалыптастыруға бағытталған.

Полимерлік scaffold жасушалардың бекінуіне, өсуіне және жаңа тіннің құрылымдануына тірек болады; ол биосәйкесті, резорбцияланатын және улы ыдырау өнімдерін шығармайтын болуы керек.

Коллаген мен альгинат сияқты табиғи материалдар, ацеллюлярлы матрикстер және PGA, PLA, PLGA сияқты синтетикалық полимерлер тіндік инженерияда қолданылады.

Дің жасушаларының өзін-өзі жаңарту және дифференциялану қасиеттері әртүрлі тіндерді қалпына келтіруге мүмкіндік береді.

Жасанды мүшелерде полимерлердің механикалық беріктігі, биоүйлесімділігі, газ/сұйықтық өткізгіштігі және ұзақ мерзімді тұрақтылығы маңызды.

Гибридті мүшелер биологиялық жасушаларды полимерлі капсулалармен, мембраналармен немесе матрицалармен біріктіреді.

Бақылау сұрақтары

1. Тіндік инженерияның мақсаты қандай және оның негізгі компоненттерін атаңыз.
2. Дәстүрлі тіндік инженерия тәсілінің негізгі кезеңдерін ретімен түсіндіріңіз.
3. Жасушаланған scaffold, жасушалық терапия және жасушасыз scaffold тәсілдерінің айырмашылығы неде?
4. 3D-биопринтингтің артықшылықтары мен шектеулерін атаңыз.
5. Тіндік инженерия матрицасына қандай талаптар қойылады?
6. Коллаген, альгинат және ацеллюлярлы матрикстердің ерекшеліктері қандай?
7. Дифференцияланған және дің жасушаларының айырмашылығы неде?
8. Жасанды органға қойылатын негізгі талаптарды атаңыз.
9. Жасанды бүйрек, өкпе, көз және есту жүйесінде қандай полимерлер қолданылады?
10. Гибридті бауыр мен жасанды ұйқы безінде полимерлік капсулалар мен мембраналардың қызметі қандай?