

і мурашоў, як гэта цяпер робяць ляньўцы. Апроч знішчэння тэрмітнікаў, даўгім кіпцюрамі было добра выкопваць карані, рассоўваць расліны, каб дацягнуцца да смачнейшай ежы, ці прыгінаць галінкі, каб зручней яе аб'есці. Таксама лічыцца, што тэрызіназаўры маглі карыстацца кіпцюрамі для дэманстрацыі моцы драпежнікам і карысталіся імі ва ўнутрывідавой канкурэнцы.

Дыназаўры ўвогуле былі вельмі вялікімі аматарамі (як іхнія нашчадкі – птушкі) патраціць рэсурсы арганізму на часам абсалютна непатрэбныя і нават шкодныя для выжывання рэчы, якія пры гэтым моцна вабяць прадстаўнікоў супрацьлеглага полу. Можна ўспомніць яскравую расфарбоўку, рознага кшталту грабяні і нарасці (драпежнікі ўхваляюць). Ёсць і больш радыкальныя варыянты. Напрыклад, навукоўцы прыйшли да вынёсавы, што адзін з самых славутых дыназаўраў – трыцератапс – не карыстаўся рагамі для абароны ад свайго галоўнага ворага – яшчэ больш вядомага тыраназаўра, бо чэрап і рогі былі проста непрыстасаваныя наносіць удары. Яны не вытрывалі б нагрузкі і ўсё скончылася б зламанымі рогамі, але вялікія прыгожыя рогі маглі ўразіць самку. Паводле гэтай жа аналогіі тэрызіназаўр мог выкарыстоўваць кіпцюры –

Мал. 3. Тарбазаўр



Ванойка.лакт

для дэманстрацыі самцы, што лепей хлопца за яго ўва ўсёй Мангаліі не знайсці. Ці пры набліжэнні драпежніка распушыць свае даўгія пёркі на пярэдніх канцавінах, выставіць кіпцюры і ўзняцца, каб паказаць, што да яго лепей нават не набліжацца, бо істота ён небяспечная. Але ці мог ажыцьцяўіць свае пагрозы насамрэч? Усё сведчыць пра тое, што без кіпцюроў-зброй тэрызіназаўр не выжыў бы. Бо мы маем вельмі павольнага дыназаўра без моцных сківіцай, якія ніяк не мог бы адбівацца сваім кароткім хвастом і не меў ніякіх шанцаў уцячы. Так, ён быў вялікі, а часам толькі памер можа ратаваць істоту ад драпежнікаў (як гэта часта бывала ў заўрападаў, калі драпежнікі мелі шанцы толькі ў станунку да маладых, хворых і старых істотаў), але тэрызіназаўр жылі ў суседстве з тарбазаўрамі (*Tarbosaurus*).

А гэта былі найбліжэйшыя сваякі тыраназаўраў, ім яны мала саступалі ў памерах, масе і моцы сківіцай. Дзесяціметровы монстр вагою 5 тонав з 8,5-сантыметровымі зубамі і хуткасцю бегу да 29 км/г (тээрэтычна). І што мог такому драпежніку супрацьпаставіць тэрызіназаўр? Калі не ўлічваць кіпцюроў, то нічога. Ні ўцячы, ні адбіцца.

Такія складаныя паводзіны мы звычайна асачаўлем з высокаарганізаванымі жывёлінамі, якія складаюцца з мноства клетак і маюць нервовую сістэму. Стэнтар жа – усяго адна клетка. Таму не здзіўляе, што вынікі эксперыменту Джэнінгса былі ўспрынятыя з скептыцызмам. У 1967 годзе навукоўцы з університету Нэбраскі нават апублікавалі артыкул, які зняніпрайджаў вынёсавы Джэнінгса пра шматузроўневую стратэгію пазыбягання ў інфузорыяў-трубачоў [16]. Аўтары съцвярджалі: шторазу, калі воблаек карміну дасягала арганізму, ён адразу ж адчапляўся і сплываў. Такім чынам вынікі Джэнінгса пачалі выглядаць, хутчэй, жаданым, чым ся існым. Цікава, аднак, што ў гэтай працы від *St. roeselii* быў заменены на *St. coeruleus*. Аўтары адзначалі: гэты від значна больш мабільны, але, не адшукаўшы *St. roeselii*, падалі працу як ёсць. Між тым, ці раўназначная была такая замена, заставалася невядомым да нядыўна.

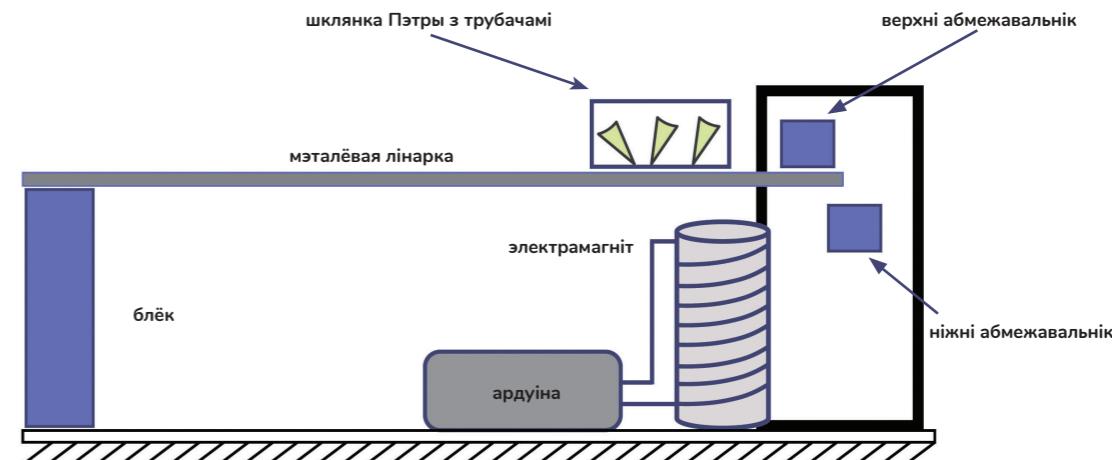
Каб адказаць на гэтае пытанье, Джоўзэф Дэкстэр (Joseph Dexter) з калегамі пастанавілі грунтоўнай дасыледаваць рэакцыю менавіта *St. roeselii* [5]. У гэтай працы аўтары съцвярджают, што здолелі паўтарыць вынікі работы Джэнінгса. І хоць пасыядоўнасьць рэакцыі асобных трубачоў не заўсёды дакладна адпавядала джэнінгскаму шэрагу, аўтары пасыля назірання за выбаркаю клетак статыстычна паказалі існаваныне герархіі рэакцыяў. Гэта, напрыклад, адхіленне сустракалася значна часцей перад рэакцыяй съціканья, а апошняя – заўсёды перад рэакцыяй адчэлівання. Калі б такое герархіі не было, рэакцыі стэнтара разъяснякоўваліся б у шэрагу выпадкова. Гэтыя звесткі съведчаць, што *Stentor roeselii* насамрэч здольны прымаць рашэнні і фармаваць індывідуальны досьвед.

Але нават больш мабільны й крыху больш сініяваты (kind of blue) *St. coeruleus* (Мал. 6) уражвае здольнасцямі. Дыпа Раджан (Deepa Rajan) з калегамі дасыледавалі рэакцыю гэтага віду



Мал. 6.
Stentor coeruleus. На здымку – варонка з расынічкамі
Аўтарства: Lena Struve
Крыніца: www.inaturalist.org

трубачоў на мэханічныя стымулы вібрацыі [14]. Яны выкарыстоўвалі прости USB-мікраскоп, каб назіраць за некалькімі трубачамі ў шклянцы Пэтры. Шклянка была прымасаваная да канца жалезнае лінаркі, якая на другім канцы была замасаваная да нерухомага блёку накшталт трампліна для скоку ў воду (Мал. 7A). Пад вольным канцом месціцца электрамагніт, праца якога кантролявалася праз кампьютер і ардуіна (Arduino) [21]. Пульс актываціі магніта выклікаў хістаныне жалезнае лінаркі і ствараў вібрацыю ў шклянцы Пэтры. Звычайная рэакцыя *St. coeruleus* на вібрацыю – съціканье, бо ў прыродзе такі стымул можа съведчаць пра надыход больш разбуранага ўзьдзеяньня альбо сігналізація пра драпежнікаў, якія палююць на інфузорыяў. Пры адсутнасці дадатковых стымулаў стэнтар разгортваецца ў сваю звычайную форму. Паўторная ж стымулі выклікаюць паўторную рэакцыю... да пэўнае мяжы. Аўтары



Мал. 7А. Дасыледаваныя звыкання *Stentor coeruleus*. Эксперыментальная прылада для фармавання дакладных мэханічных ўзьдзеяньняў на клеткі інфузорыяў-трубачоў

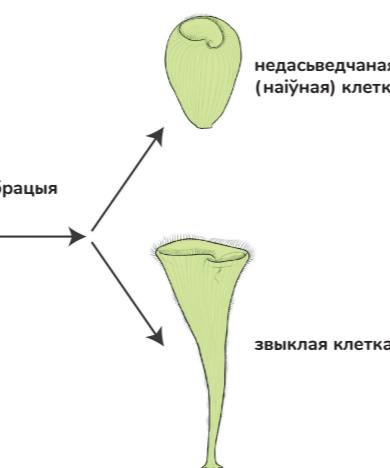
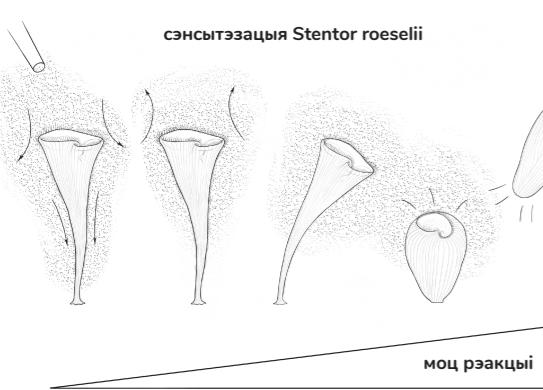
работы стваралі вібрацыі з пэрыядам 1 хвіліна і фіксавалі паводзіны асобных трубачоў. Анализ іхных рэакцыяў паказаў, што кожны трубач рэагуе на паўторныя стымулы, пакуль не прымае рашэння больш не рэагаваць (Мал. 7Б). Зь цагам часу ўсё больш клетак у паддосьледнай выбарцы прымалі такое рашэнне, і амаль усе яны звыкалі да паўторных вібрацыяў. Такую змену паводзінаў можна лічыць адаптыўна, бо сціскацца ў адказ на стымулы, якія на сведчача пра надыход небяспекі, – значыць выдаўкоўваць энергію дарэмна.

Абодва прыклады, што вышэй, паказваюць здольнасць стэнтараў адаптавацца да вонкавых стымулаў, на якія задоўга (ці зачаста) выпадае рэагаваць. *St. roeselii* выкарыстоўвае шэраг ўсё больш моцных рэакцыяў, каб унікнуць раздражняльных стымулаў. *St. coeruleus* звыкае да ўзыдзеяньняў, якія спачатку выглядаюць неўбяспечна, але пасля шматлікіх паўтарэнняў ператвараюцца ў неістотны шум. У абодвух выпадках гэтыя аднаклетковыя арганізмы вырашаюць рэагаваць на вонкавыя сігналы з улікам інфармацыі пра час («як доўга/часта я ўжо рэагую»). Іншымі словамі, яны выкарыстоўваюць памяць, якая фармуе індывідуальны досьвед і дазваляе ім адаптыўна зъмяніць свае паводзіны, то бок навучання. У гэтым выпадку трубачы дэманструюць здольнасць да неасацыятыўнага навучання, то бок сэнсыблізацыі (*St. roeselii*) і звыкання (*St. coeruleus*) (Мал. 8).

Чаму гэта важна?

Шмат працы ў біялёгіі адбываецца з аднаклетковымі арганізмамі. Галоўная іхняя перавага ў лябараторыі – непераборлівасць да жыцця і адсутнасць складанай арганізацыі, што дазваляе лёгка маніпуляваць і назіраць за імі. Дасьледаваны аднаклетковых на раз прыводзілі да адкрыцца фундамэнтальных механізмаў жыцця. Напрыклад, адкрыццё ДНК як носьбіта генетычнай інфармацыі адбылося пры дасьледаванні бактэрыяў [3, 4], а прынцыпы клеткавага дзялення ў вялікай ступені былі высьветленыя спачатку ў дрожджаў [12]. Але ці магчыма пра дойжуць гэты шэраг у кірунку пазнання? І якое дачыненне да гэтага мае біялёгія?

сэнсыблізацыя *Stentor roeselii*

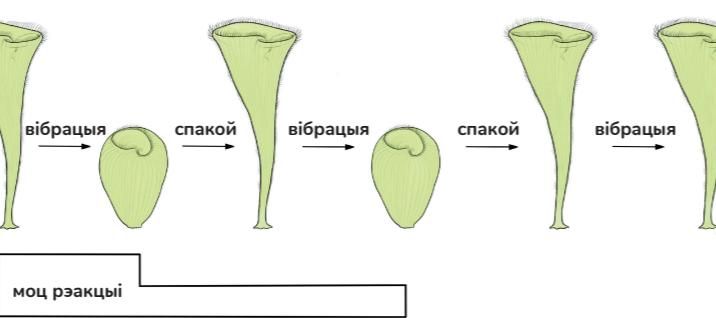


Мал. 7Б. Схематычнае парабітнанье рэакцыяў наўных клеткі і звыклых клетак

Пазнанне – гэта працэсы, звязаныя з розумам, мысльеннем, інтэлектам і да т. п. У сучасным навуковым дыскурсе вывучае пазнанне кагнітыўствіка, альбо кагнітыўная навука (ад анг. cognition – пазнанне) [19]. Гэтая міждысцыпліна спалучае дасьледаваны ў галінах псыхалёгіі, нэуранавукі, штучнага інтэлекту, лінгвістыкі, антропалёгіі і філозофіі (Мал. 9) [11]. Кагнітыўствіка разглядае пазнанне як інфармацыйны працэс, у якім умоўна можна вылучыць этапы ўспрымання інфармацыі, яе апрацоўвання і выкарыстання [18]. Як прыклад пазнавальнага працэсу можна прывесці асвойваньне ігры на трубе: глядзіш т'юторыялы на YouTube (успрыманне), запамінаеш ноты і практикуешься (апрацоўванне), урэшце запісваеш альбом (выкарыстанне). Кагнітыўная здольнасць – як памяць і навучанне – забяспечваюць хаду гэтага працэсу.

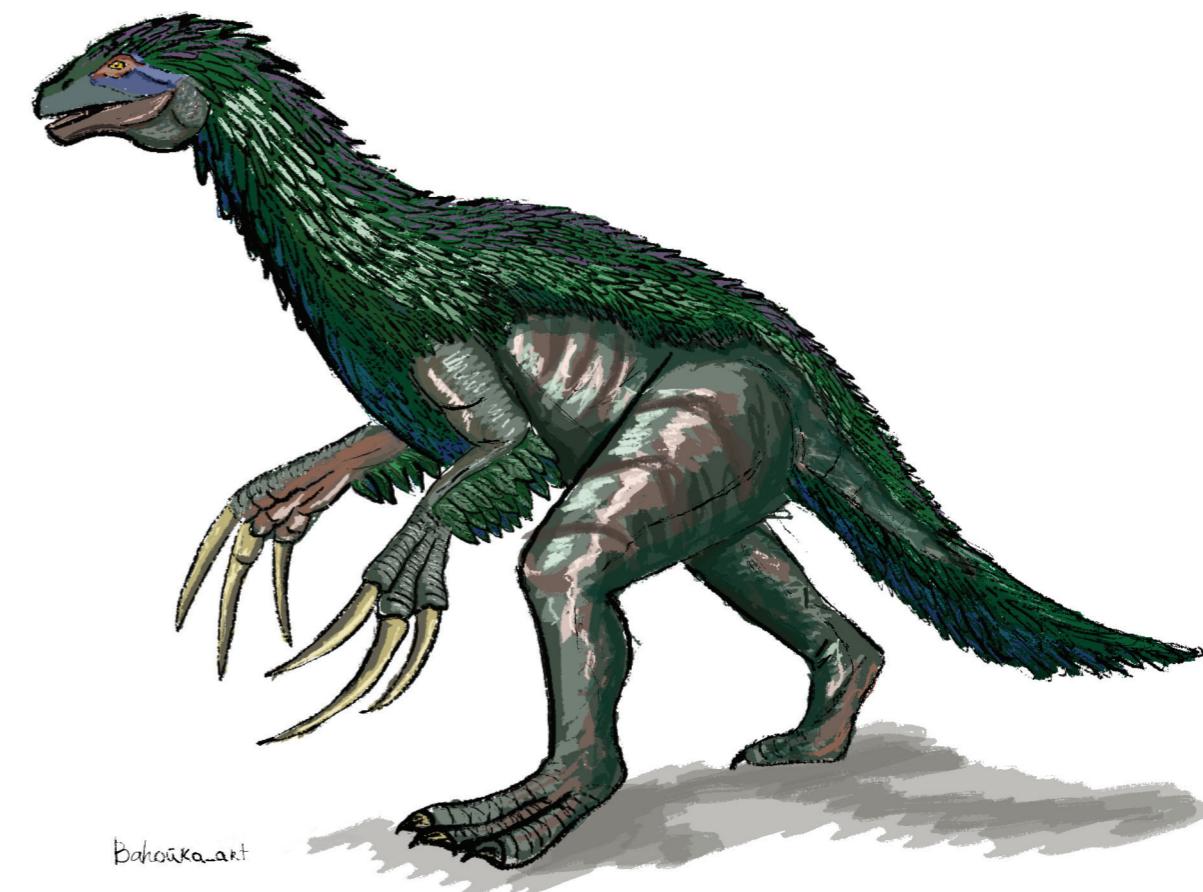
У сучаснай навуцы пазнанне звычайна разглядаецца альбо ў выключна чалавекацэнтрычным кантэксьце, альбо з далучэннем некаторых найбольш кагнітыўна здатных жывёлінаў [15, 18]. Развіццё гэтае традыцыі ў значайнай ступені абавязанае Рэнэ Дэкарту², які сформуляваў ідэю пра раздзельнасць чалавечага

звыканне *Stentor coeruleus*



Мал. 8. Неасацыятыўнае навучанне інфузорыяў-трубачоў

²Рэнэ Дэкарт (René Descartes) – славуты французскі філёзаф, навуковец і матэматык. Яму належыць папулярны выраз «Мыслью – значыць, існую» (лац. Cogito ergo sum) [26].



Мал. 2. Тэрэзіназаўр

фіксацыі здабычы (эараптар). Пярэднія канцавіны звычайна мелі 3 пальцы, заднія – 4. Значная частка тэрраподаў была цеплакроўная і пакрытая пер'ем. Тэрэзіназаўр быў нетыповым прадстаўніком тэрраподаў. Ягоныя продкі ў свой час сталі на шлях вегетарыянства, што здаралася з тэрраподамі начаста. Заднія канцавіны былі адносна кароткія, трывалыя і широкія. Хвост быў вельмі тоўсты, але кароткі. Такое спалучэнне рабіла з тэрэзіназаўром вельмі кепскага бегуна. Шыя была даўгая, а галава вельмі малая адносна памераў цела – наступствы пераходу на раслінную ежу. Выказваюцца версіі, што тэрэзіназаўр час ад часу не адмоляўся схапіц і з'есці невялікага сысуну ці дыназаўру, бо форма зубоў такой дыеце спрыяе.

Цяпер мы ведаем, што тэрэзіназаўры былі пакрытыя пер'ем. Асабліва можна вылучыць на пярэдніх канцавінах і шыі падоўжаныя да падвіднікаў пёркі, якія, хутчэй за ўсё, маглі распушвацца, як гэта цяпер робяць страусы. Карысная практычная рэч, калі хочаце заўважна павялічыць свае памеры перад драпежнікам, адагнаць яго ці ўразіць прыгажуню самку.

Мы не маем беспасярэдніх доказаў, што тэрэзіназаўры былі цеплакроўныя, але ўскосныя доказы ёсць.

Тэрэзіназаўры былі вялікія істоты. Самыя вялікія сярод свайго сямейства. Даўжыня – 9–10 метраў, вага – з 3,5 тонамі. Некаторыя крыніцы ўказваюць 5 ці нават 6 тонамі, але мне такія звесткі падаюцца завышанымі, і тут тырыцы хвост экстрапаляції судносінаў вагі і памераў ад сисуну. У дыназаўраў ўсё ж быў вельмі лёгкім трабекулярным (губчатым) косткі, лёгкія чарапы з вялікімі фенестрамі і паветранымі мяхамі, якія былі важнаю часткаю дыхальнае сістэмы, таму нават вельмі вялікія дыназаўры былі вельмі лёгкія адносна свайго памеру. Вышынёю тэрэзіназаўра сягаў 5–6 метраў і змог бы спакойна зазірнуць у вакно другога паверху. Гэтага яму хапала, каб аб'ядыць высокі і больш маладыя ды пяшчотныя галінкі дрэваў.

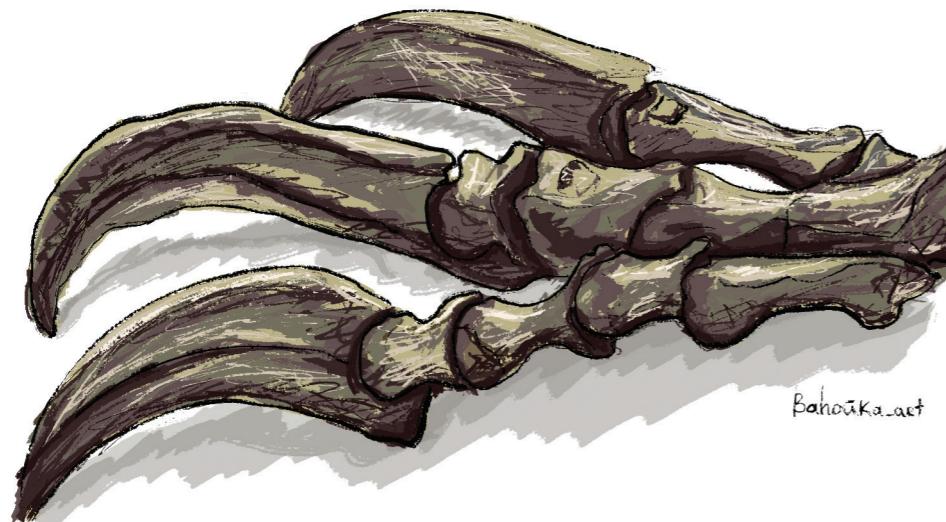
І вось мы падышлі да самай вялікай асаблівасці тэрэзіназаўра – пярэдніх канцавінаў даўжынёю 2,5–3,5 метра з унікальнымі 65-сантыметровымі кіпцюрамі. Дарэчы, тэрэзіназаўр трапіў у Кнігу рекордаў Гінэса як уладальнік самых вялікіх кіпцюраў сярод дыназаўраў. Галоўнае пытанне, якое ставяць перад сабою навукоўцы, – навошта. Адназначнага адказу няма. Але ўсё думкі на гэты конт не супярэчачці і не выключаюць адна адной. Калі Раждзественскі ў 1970 годзе аднёс тэрэзіназаўра да тэрраподаў, то палічыў, што кіпцюры выкарыстоўваліся, каб даставаць тэрмітаў

Магчыма, загаловак майго артыкулу можа падаца ца саманадзейным ці клікбэйтным, але гаворка пойдзе пра дыназаўра, яко-га афіцыйна прызналі самым дзіўным – паводле Кнігі рэкордаў Гінэса. Магу сказаць, што ўсе падставы для гэтага ёсць, хоць канкурэнтаў было дастаткова. Пачнем жа з пачатку.

У 1948 годзе савецка-мангольская экспедыцыя на чале з Іванам Яфрэмавым скіравалася на раскопкі ў пустэльню Гобі (фармацыя Нэмэгт у паўднёва-заходній Манголіі). Навукоўцы выкапалі вялікія пласты пароды, каб пасля апраца-ваць іх у больш прыдатных умовах. Што і было зроблена. Сярод знайденага былі рэшткі пра-даўгаватых рэбраў і вялікіх кіпцюроў. Яфрэ-маў у сваёй кнізе «Дарога вятроў» апісвае гэта так: «Ужо ў Москве ў маналіце са шкілетам драпежнага дыназаўра з Р-5 выявіліся косткі незвычайнага, да гэтага часу невядомага на-вуцы яшчара. Падобны да вялікага чарапахі метраў шасці даўжынёй і ўзброены метровымі вострымі, як брыты, серападобнымі кіпцюро-мі, яшчар быў насыльнікам марскіх узярэж-жаяў. Малеёў [які беспасярэдне зрабіў апісан-не. – Заўвага аўт.] назваў яго тэрэзіназаўрам (*Therizinosaurus cheloniformis*), што па-грэцку значыць “ящчар-касец”.

І не дзіва, што навукоўцы былі гэтак уражаныя. Самая буйная кіпцюрная фаланга сягала 52 см, а значыць, жывёліна магла мець кіпцюры 60–65 см! Даўгія рэбрь пераканалі Яўгенія Малеева, што перад ім буйная марская чара-паха даўжынёю прыблізна 3,2 метра, а даўгія кіпцюры былі патрэбныя, каб зручней збіраць марскую траву.

Мал. 1. Адмаліваны аналог кіпцюроў



У 1970 годзе савецкі палеонтолаг Анатолій Раждзественскі ў артыкуле «Пра гіганцкія кіп-цюрныя фалангі загадковых рэптыліяў мезазою» перши выказаў думку, што **тэрэзіназаўр** – прадстаўнік тэраподавых дыназаўраў. Як мы цяпер ведаем, Раждзественскі цалкам меў рацыю, хаця тады і сам не быў зусім у гэтым упэўнены: «Ясна, што выказаныя думкі ні ў якой меры не прэтэндуюць на бязгрешнасць і ў зна-чай ступені дыскусійная, натуральна, могуць быць пацверджаныя або зняпраўданыя больш поўнымі знаходкамі». Можна сказаць, што тэорыя Раждзественскага сталася глебай, ад якой па-чалі адштурхоўвацца навукоўцы ў далейшым назапашванні ды аналізе звестак. Гэтак,поль-скія палеанталагі Гальшка Асмульска (Halszka Osmólska) і Эва Раневіч (Ewa Roniewicz) у тым жа 1970-м змаглі апісаць стрыечнага брата тэрэзіназаўра – дэйнахеяруса (*Deinocheirus*). А мангольскі палеонтолаг Рынченгийн Барсбалд (Ринченгийн Барсболд) у 1976 годзе апісаў пляча і перадплечча тэрэзіназаўра, канчаткова даказаўшы, што той – тэрапод. У пачатку 1980-х адбыўся сапраўдны бум знаходак і апісан-ня тэрэзіназаўраў: эрліяназаўры (*Erliansaurus*, 2002), эрліказаўры (*Erlikosaurus*, 1980), на-троніксы (*Nothronychus*, 1998), сагназаўры (*Segnosaurus*, 1979). Усіх іх разам з тэрэзіназаў-рам аб'ядналі ў сямейства **тэрэзіназаўрыда** (*Therizinosauroidae*).

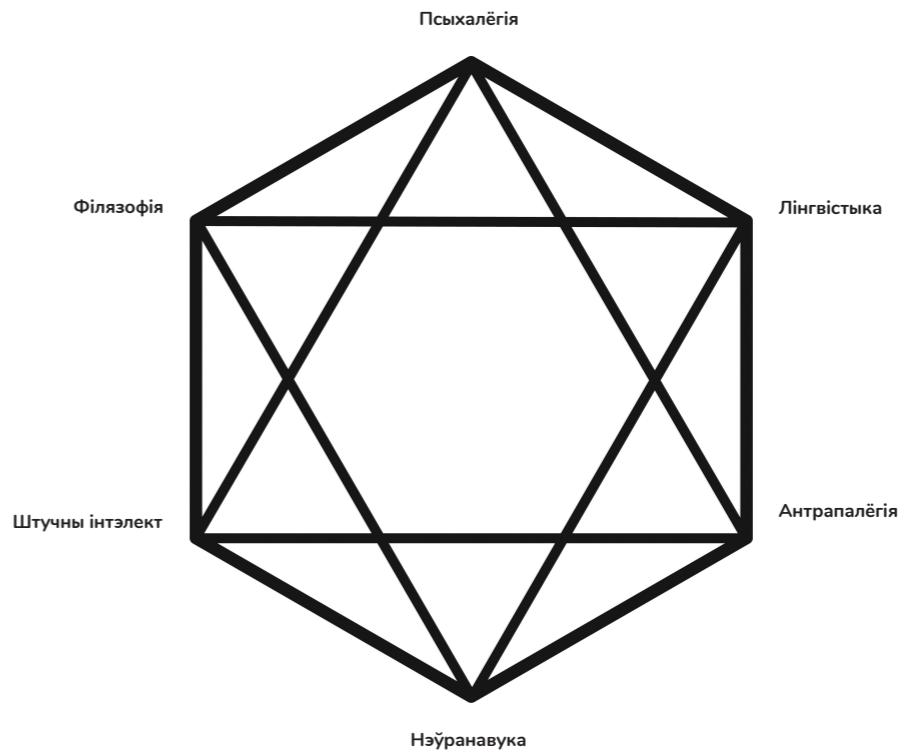
Пазнаёмімся бліжэй з нашым героям на мал. 2. Адносяцца тэрэзіназаўр да падатраду тэрапо-даў. Эта былі ў асноўным драпежныя дыназаў-ры, якія перамяшчаліся на задніх канцавінах (бі-педалізм, або двуногасць), маглі няблага бегаць, пярэднія канцавіны ў іх былі альбо рэдукаваныя (як у тыраназаўра), альбо прыстасаваныя для

цела (фізычнае, прыроднае) і разуму (па-за фізыкаю, боскае) – картэзіянскі дуалізм [17]. З часам ідэі пра існаванье рэчаў, якія не падпа-радкоўваюцца законам фізыкі, началі пакідаць навуковую плынь, але ідэі пра асаблівасць ча-лавека як адзінага носьбіта разуму яшчэ маюць свой уплыў. Менавіта таму сярод галінаў каг-нітыўістыкі лічыцца толькі малая частка біялёгіі, якая вывучае мозг, – нэўранавука.

Працы Джэнінгса, Дэкстера і Раджана паказваюць недарэчнасць гэтае схімы паміж чалавекам ды астатнія жывою прыродаю. Фармаванье памяці, навучанье, прыняцце рашэння – прыклады таго, што Пэмэла Ліён (Pamela Lyon) з калегамі назвалі базавымі кагнітыўнымі здоль-насцяямі (анг. basal cognitive capacities), што ўласцівія ўсім арганізмам [9]. Да съследаван-ні такіх здольнасцяў у аднаклетковых – заклік зъмяніць погляд на ролю такіх функцыяў у біялё-гії, а таксама на месца біялёгіі ў кагнітыўнай на-вуцы. Мабыць, асноўнае звязаньне тут – канцепцыя інфармацыі, што, калі шчыра, заслухаўвае асоб-нага артыкулу. Тут жа можна заўважыць, што ўсе арганізмы выкарыстоўваюць інфармацыю як інструмент падтрымання сваёй складанай структуры й супрацьстаяння агульнаму росту энтраў (гл. дэман Максўэла (Maxwell's demon) [24]). Інфармацыя – масток паміж прыродай і культурою, бо аднолькава апісвае дзеяньне і генай, і мэмай [25].

Вяртаючыся да нашых аднаклетковых трубачоў, трэба адзначыць: дакладныя мэханізмы іхнага навучанья яшчэ чакаюць высьветлення. Тым не менш аўтары абоўдух артыкулаў цытуюць ранейшыя працы ды спэкулююць, што мадыфікацыі (напр. фасфарыляванье) іённых каналаў, якія кантролююць узбуджальнасць клеткі, могуць быць адказныя за памяць [5, 14]. З кожным новым вонкавым стыmulам клетка запісвае такія мадыфікацыі на малекулы каналаў, як у натат-нік. Гэта можа весьці да зъменай у іхным дзеянь-ні – выключэння альбо актывациі. Ці на самрэч памяць трубачоў працуе такім чынам, будзе вы-светлена, яўпэўнены, адносна хутка, бо съцеж-ка вывучэння аднаклетковых арганізмаў вельмі добра пратаптаная біёлягамі.

Гэтак, апрач новых мэханізмаў памяці, навучанье і прыняцце рашэння ў аднаклетковых, ін-фузоры-трубачы здольныя апавесці нам штось і пра нас. Іхныя кагнітыўныя здольнасці могуць ляжаць на адным эвалюцыйным кантынууме з чалавечым пазнаньнем. І хоць прырода генія музыки Майлза Дэйвіса ўсё яшчэ застаецца для нас таямніцю, мы можам шукаць адказы на не-каторыя з пытаньняў, вывучаючы разнастайныя арганізмы.

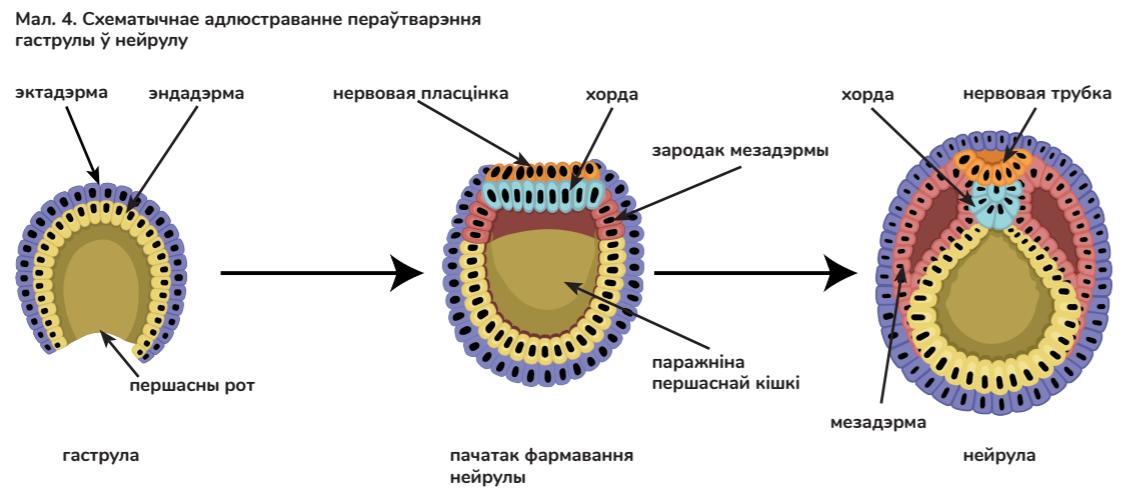


Мал. 9. Асноўныя галіны кагнітыўнае навукі. Форму гек-сагона з дыяганалямі традыцыйна выкарыстоўваюць для ілюстрацыі ўзаемадзеяньня гэтых дысцыплінай

Крыніцы:

1. Birch, H., Stuart, C., & Looi, M. K. (2013, September 1). The 20 big questions in science. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/science/2013/sep/01/20-big-questions-in-science>
2. Citri, A., & Malenka, R. C. (2008). Synaptic plasticity: Multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropharmacology*, 33(1), 18–41. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301559>
3. Cobb, M. (2014). Oswald Avery, DNA, and the transformation of biology. *Current Biology*, 24(2), R55–R60. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.11.060>
4. Dawes, H. (2004). The quiet revolution. *Current Biology*, 14(15), R605–R607. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.07.038>
5. Dexter, J. P., Prabakaran, S., & Gunawardena, J. (2019). A Complex Hierarchy of Avoidance Behaviors in a Single-Cell Eukaryote. *Current Biology*, 29(24), 4323–4329.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.10.059>
6. Howard-Till, R. A., Kar, U. P., Fabritius, A. S., & Winey, M. (2022). Recent Advances in Ciliate Biology. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 38, 75–102. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-120420-020656>
7. Jennings, H. S. (1902). STUDIES ON REACTIONS TO STIMULI IN UNICELLULAR ORGANISMS. IX.—ON THE BEHAVIOR OF FIXED INFUSORIA (STENTOR AND VORTICELLA), WITH SPECIAL REFERENCE TO THE MODIFIABILITY OF PROTOZOAN REACTIONS. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 8(1), 23–60. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1902.8.1.23>
8. Kandel, E. R., Dudai, Y., & Mayford, M. R. (2014). The Molecular and Systems Biology of Memory. *Cell*, 157(1), 163–186. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.001>
9. Lyon, P., Keijzer, F., Arendt, D., & Levin, M. (2021). Reframing cognition: getting down to biological basics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1820), 20190750. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0750>
10. Ma, H., Khaled, H. G., Wang, X., Mandelberg, N. J., Cohen, S. M., He, X., & Tsien, R. W. (2023). Excitation-transcription coupling, neuronal gene expression and synaptic plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 24(11), 672–692. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00742-5>
11. Miller, G. A. (2003). The cognitive revolution: a historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 141–144. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00029-9)
12. Nobel Prize Outreach AB. (2001). The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2001 - Press release. Press Release. NobelPrize.Org. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2001/press-release/>
13. Pacheco, M. M., García, P. M., & Diego, M. Á. P. (2023). Cell types. Keratinocyte. *Atlas of Plant and Animal Histology. ATLAS of PLANT and ANIMAL HISTOLOGY*. <https://mmeigias.webs.uvigo.es/02-english/8-tipos-celulares/queratinocito.php>
14. Rajan, D., Makushok, T., Kalish, A., Acuna, L., Bonville, A., Correa Almanza, K., Garibay, B., Tang, E., Voss, M., Lin, A., Barlow, K., Harrigan, P., Slabodnick, M. M., & Marshall, W. F. (2023). Single-cell analysis of habituation in *Stentor coeruleus*. *Current Biology*, 33(2), 241–251.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.11.010>
15. Reber, A. S. (2018). The First Minds: Caterpillars, Karyotes, and Consciousness. In *The First Minds*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190854157.001.0001>
16. Reynierse, J. H., & Walsh, G. L. (1967). Behavior Modification in the Protozoan *Stentor* Re-Examined. *The Psychological Record*, 17(2), 161–165. <https://doi.org/10.1007/BF03393700>
17. Robinson, H. (2020). Dualism. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy Archive* (Spring 202). Center for the Study of Language and Information. <https://plato.stanford.edu/entries/dualism/#MinBodHisDua>
18. Shettleworth, S. J. (2010). Cognition, evolution, and behavior. 700. https://books.google.com/books/about/Cognition_Evolution_and_Behavior.html?id=Qs1qGys0AwC
19. Thagard, P. (2018). Cognitive Science. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy Archive* (Spring 201). Center for the Study of Language and Information.
20. Wallace, R., Olson, D. E., & Hooker, J. M. (2023). Neuroplasticity: The Continuum of Change. *ACS Chemical Neuroscience*, 14(18), 3288–3290. <https://doi.org/10.1021/acschemneuro.3c00526>
21. Wikipedia contributors. (2023a). Arduino - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>
22. Wikipedia contributors. (2023b). Avery-MacLeod-McCarty experiment - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Avery-MacLeod-McCarty_experiment
23. Wikipedia contributors. (2023c). Hair's breadth - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hair%27s_breadth
24. Wikipedia contributors. (2023d). Maxwell's demon - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s_demon
25. Wikipedia contributors. (2023e). Meme - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Meme>
26. Wikipedia contributors. (2023f). René Descartes - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/René_Descartes
27. Кабанава, С. (2023). А ўсё-такі яны аднаўляюцца! *PAMYŁKA*, 2, 27–32.





На стадыі гаструлы скончваецца размеркаванне клетак да эктадэрмы і эндадэрмы, утвараеца першасны рот. У некаторых жывёлінаў, у тым ліку і ў чалавека, на месцы першаснага рта ўтвараеца анальны полюс, а ротовы – на супрацьлеглым баку. На стадыі нейрулы з'яўляеца мезадэрма – трэці слой зародка, які месціцца паміж эктадэрмай і эндадэрмай. Мезадэрма дзеі пачатак косцевай, цяглічнай, злучальтай тканкам, сэрцу і судзінам. На канцы нейрулы закладзеныя асноўныя патэрны размяшчэння і далейшага развіцця тканак і органаў. На стадыі нейрулы адбываеца закладанне нервовае трубкі

Калі падсумаваць, то развіццё – гэта складаны, паслядоўны працэс, які рэгулюеца дзякуючы каардынацыі паміж узаемадзеяннем шматлікіх генаў, а таксама фактараў навакольнага асяроддзя, якія забяспечваюць правільнае фармаванне і размяшчэнне розных тыпau клетак і тканак эмбрыёна.

Крыніцы:

1. Dean, W., Santos, F., & Reik, W. (2003). Epigenetic reprogramming in early mammalian development and following somatic nuclear transfer. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 14(1), 93–100.
2. Karlsson-Rosenthal, C., & Millar, J. B. A. (2006). Cdc25: mechanisms of checkpoint inhibition and recovery. *Trends in Cell Biology*, 16(6), 285–292.
3. Logan, C. Y., & Nusse, R. (2004). THE WNT SIGNALING PATHWAY IN DEVELOPMENT AND DISEASE. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 20(1), 781–810.
4. Alberts, B. et al. (2022). *Molecular Biology of the Cell* 7th edition.
5. Gilbert, S.F. (2000). *Developmental Biology*. Sinauer Associates.
6. Wolpert, L., Tickle, C., & Arias, A. M. (2015). *Principles of development*. Oxford University Press, USA.

SPEEDRUN' ПАЧАТКУ РАЗВІЦЦЯ ЗІГОТЫ

Улляна Асташкевіч

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
ASTRANTUS MON



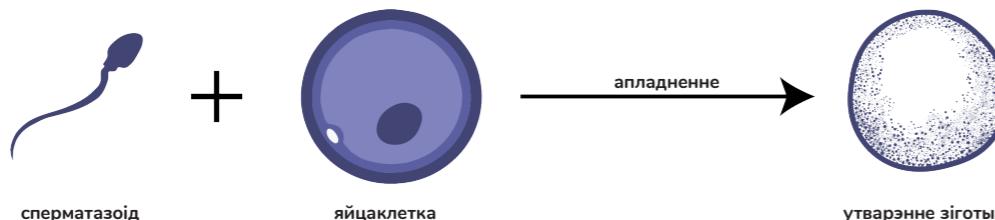
**Шаноўныя чытачы, спадзяюся, з вашага да-
зволу, перафармулюю выкаванне фізікаў
на біялагічны лад («Фізік – гэта спосаб спа-
знання атамаў», – Джордж Ўолд²). І нашыя
клеткі падумаюць пра лёс аднае вельмі зна-
чнае клеткі – зіготы. Але чаму такая ўвага
толькі ёй? Давайце разбірацца!**

Пры апладненні адбываецца зліцё звычайна дзвюх плоцевых клетак (або вузай), якія маюць адзінтарны (гаплоідны) набор храмасомаў. Гэтак атрымоўваецца адна клетка з поўным, падвойным (диплоідным) наборам храмасомаў. Яна называецца **зіготаю** (так, тая самая клетка!), і менавіта з яе пачынаецца развіццё цалкам новага арганізму. У гэтым артыкуле я звярну ўвагу на пачатак развіцця зіготы сысуной, а менавіта чалавека. Але трэба адзначыць, што зігота як структура, якая атрымоўваецца пасля зліця плоцевых клетак, харктэрная не толькі жывёле. І са сваймі асаблівасцямі можа выступаць як вынік зліця плоцевых клетак ды першою клеткай новага арганізму ў раслінаў, грыбоў або пратыстай.

Зігота і клеткі пасля яе першых дзяленняў маюць здольнасць да **татыпатэнтнасці** – кожная з клетак можа даць пачатак фармаванню любое тканкі эмбрыёна. Гэтак, у дарослых сысуной больш за 230 розных тыпau клетак, якія ўтварыліся з адной! Можаце ўяўіць, што ў маленъкай клеткі патэнцыяль развіцця... неабмежаваны? Рытарычнае пытанне, бо спойлер у кожным з нас.

Ну, добра, у нас ёсць адна клетка, якае дзе пачатак развіцця шматклеткавага высокаспецыялізаванага арганізму. Але як зігота разумее, што ёй трэба рабіць? Што яе ўвогуле пабуджае да дзеянняў? Як з аднае клеткі атрымоўваецца шмат клетак, якія да таго ж выконваюць розную функцыю?

Мал. 1. Схематычнае адлюстраванне працэсу апладнення і атрымання зіготы



Мал. 2. Схематычнае адлюстраванне дзялення зіготы да стадыі морулы



¹У відэагульнях – максімальная хуткае праходжанне відэагулыні ці яе часткі.

²«A physicist is the atom's way of knowing about atoms», – George Wald.

Развіццё зіготы на ранніх этапах кантралюецца матчынаю мРНК (матрыца для сінтэзу белкоў), якую зігота атрымала ад яйцаклеткі разам з іншымі кампанентамі цытаплазмы. Запас матчынаю мРНК патрэбны для першых этапаў развіцця, бо зігота такіх рэурсаў пакуль не мае. Хоць матчына мРНК і прысутнічала ў яйцаклеткы, але выконваць сваю функцыю пачынае пасля апладнення.

Наяўнасць такое мРНК разам з цытазольнымі фактарамі значна палягчае развіццё зіготы, бо гэта рэурс і для падтрымкі жыццяздольнасці клеткі, і для рыхтавання зіготы да сінтэзу ўласнае мРНК. Дапамагае клеткам зіготы не страчаць татыпатэнтнасці, а таксама кантралюе правільнасць дзялення і развіцця зіготы.

Каб пачаць спецыялізацыю клетак, трэба павялічыць іх колькасць. Таму зігота пачынае дзяліцца **мітозам**. Адны з асноўных генаў, якія падтрымуюць клетку да дзялення, – гены сямейства CDC25, яны дапамагаюць пераходзіць клеткам праз стадыі клеткавага цыклу, кантролююць правільнасць дзялення. Першыя клеткі пасля дзялення зіготы называюцца **blastamericami**. Прыкладна на стадыі 8 бластамераў пачынаецца актывация **зігатычнага геному**. Гэта азначае, што мацярынская мРНК пачынае дэградаваць, а клеткі пачынаюць развівашца з дапамогай уласнае мРНК. Клеткі пачынаюць дзяліцца, але памер структуры застаецца сталы, бо памер клетак памяншаецца. Калі дасягаецца мінімальны памер клетак, запускаецца праграма росту клетак. На гэтых ранніх стадыях актывуюцца адмысловыя гены, якія вызначаюць будучую арыентацыю і спецыялізацыю клетак. Але перад тым, як нешта абраць, трэба прыняць пастанову. Такою пастановаю можна назваць працэс **дэтэрмінацыі**, а працэс, пры якім выбар рэалізуецца, называецца **дыферэнцыяцыяй**.

Зігота пачынае дзяліцца пад уплывам актывациі генаў сямейства CDC25, Oct4, Nanog ды інш. Стадыя, калі колькасць клетак роўная звычайна 32, называецца морула – шара падобная структура з клетак. На гэтай стадыі пачынаюць быць актыўныя гены, якія адказваюць за будуче дыферэнцыяванне.

Дэтэрмінацыя праграмуе і вызначае лёс кожнай клеткі, якія тыпы тканак будуть развівацца з кожнай з іх, фармуючы шлях развіцця клеткі ў складзе розных тканак. Дэтэрмінацыя можа адбывацца на ўзроўні рэгуляцыі генаў.

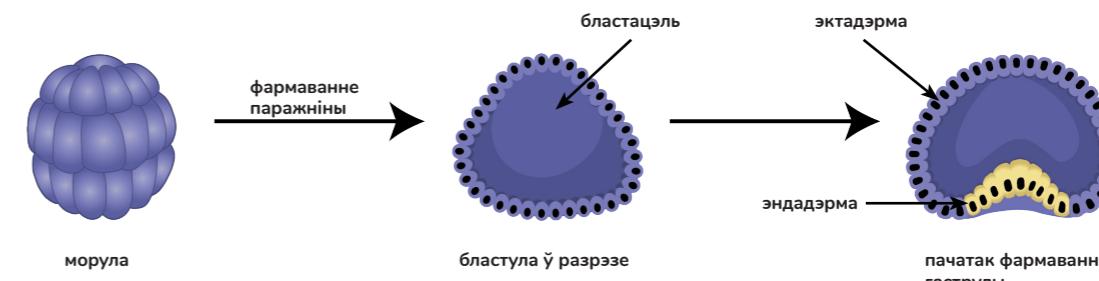
Крытычную ролю ў выкананні праграмы клеткаю адыгрывае экспрэсія генаў (праяўленне актыўнасці гену), а дакладней, іх актывация ці заглушэнне ў неабходныя моманты. Дзякуючы такой рэгуляцыі вызначаюцца асноўныя характеристыкі і спецыялізацыя клетак. Прыкладам дэтэрмінаванай экспрэсіі генаў можа быць размеркаванне структураў пры асиметрычным

дзяленні клетак, што харктэрна для чалавека. Умоўна, калі матчына клетка ўтрымлівала малекулы A, B, C, то адна дачычная клетка атрымала толькі кампанент B, а другая – A і C. Праз такое нераўнамернае размеркаванне матэрыялу адна клетка больш схільная да хуткае спецыялізацыі (ёсць умовы для экспрэсіі адпаведных генаў), а другая клетка здольная падтрымліваць недыферэнцыяваны стан.

Наступны важны працэс – **дыферэнцыяванне**, менавіта яно адказвае за ўласна пераўтварэнне стваловай (або растковай) клеткі ў клетку пэўнага тыпу (нервовую, цяглічную ды інш.).

Дыферэнцыяванне клетак рэгулюеца з дапамогаю паслядоўнае змены актыўных генаў. Гэта адбываецца дзякуючы перадачы сігналаў ад аднае клеткі і ўспрыняцця гэтых сігналаў іншымі, магчымасці клетак быць успримальнымі да індуктыўных сігналаў у пэўны момант.

Мал. 3. Схематычнае адлюстраванне пераўтварэння морулы да гастролы



Клеткі морулы пачынаюць рухацца, што прыводзіць да фармавання бластулы знутраню паражнінаю. Паступова пад уплывам генаў (BMT, Wnt) фармаванне эктадэрма (адказвае за вонкавыя структуры) і эндадэрма (адказвае за нутраныя будучыя структуры эмбрыёна)

Важна разумець, што спецыялізацыя клетак цесна звязана з іх просторовым размяшчэннем. Ад градыенту канцэнтрацыі пэўных малекулаў, лакалізацыі клеткі і яе ўзаемадзеяння з іншымі клеткамі залежыць, якія сігналы і ў якой колькасці клетка можа ўспрыніць, а значыць – вызначыцца, якому тыпу тканак будзе даваць пачатак.

Так наяўнасць градыенту фактуру росту па баках эмбрыёна можа ўпłyваць на пераўтварэнне клетак у гэтай зоне ў нервовую тканку.

Яшчэ адзін прыклад – сямейства генаў Wnt, адна з функцыяў якіх – фармаванне восьі цела. А парушэнне сігналнага шляху Wnt можа прыводзіць да некантролюванага росту клетак, дэфектаў сістэмай органаў.