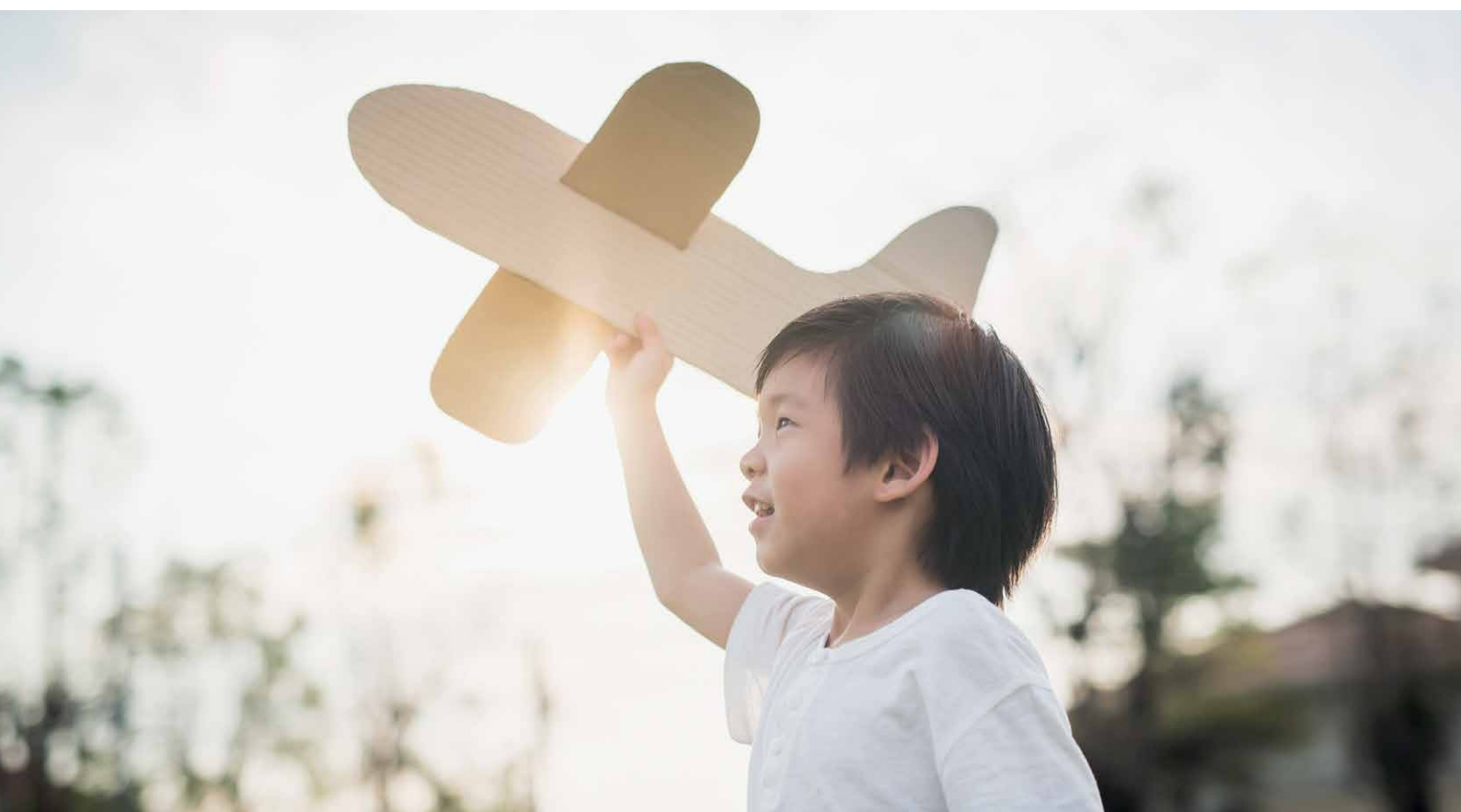


**Біла книга**

# **Нейронаука та навчання через гру: огляд доказів**



**Клер Лю (Claire Liu), С. Ліннет Соліс (S. Lynne Solis), Ханне Дженсен (Hanne Jensen), Емілі Хопкінс (Emily Hopkins), Дейв Ніл (Dave Neale), Дженніфер Зош (Jennifer Zosh), Кеті Хірш-Пасек (Kathy Hirsh-Pasek) і Девід Вайтбред (David Whitebread)**

**Листопад 2017 р.**

Зміст

Вступ • 3

Радісна • 6

Значуща • 10

Активна • 14

Мотивуюча • 16

Соціальна • 18

Заключні думки • 20

Література • 22

Ця Біла книга опублікована 2017 року та ліцензована Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.09>) ISBN: 978-87-999589-2-4

**Для цитування можна використовувати:**  
К. Лю, С. Л. Соліс, Х. Дженсен, Е. Дж. Хопкінс, Д. Ніл, Дж. М. Зош, К. Хірш-Пасек і Д. Вайтбред (2017). «Нейронаука та навчання через гру: огляд доказів (звіт за результатами дослідження)». «The LEGO Foundation», Данія.

Вступ



У цій Білій книзі ми робимо огляд літератури з нейронауки та біології, зосереджуючись на тих п'яти характеристиках, які використовуються для визначення ігрового навчального досвіду, а саме таких, як-от радісна, значуща, активна, мотивуюча та соціальна (Zosh, 2017). З позицій нейронауки ці характеристики здатні сприяти навчанню.

**Огляд літератури з нейронауки**  
Наявне сьогодні розуміння, як кожна з характеристик може сприяти навчанню, спирається насамперед на дослідження та відповідні моделі типового й атипового розвитку дорослих і тварин. Моделі, які описують функціонування мозку тварин, розширюють наше уявлення про ймовірні механізми, притаманні людському мозку, однак варто зауважити, що людські і тваринні моделі не є співставними. Окрім того, дослідження дорослих людей забезпечують відомостями про роботу кори головного мозку, але в мозку, який менш вразливий і менш чутливий до впливу зовнішнього середовища, у порівнянні з дітьми. Зважаючи на це, ми розглядаємо наявну літературу, припускаючи (в більшості випадків) наявність відкритих питань щодо того, яким чином кожна характеристика може впливати на навчання дітей. Крім того, також варто зауважити, що, незважаючи на те, що це дослідження показує, як зазначені п'ять характеристик можуть сприяти навчанню, насправді лише деякі з них розглядають безпосередній зв'язок між грою і навчанням. Це також залишається відкритою для подальших досліджень сферою.

Далі ми спершу описуємо взаємопов'язаний характер навчання, а потім підсумовуємо кожну з п'яти характеристик та їх зв'язок з навчанням крізь призму нейронауки.

**Розвиток дитини є взаємопов'язаним**  
Аналізуючи п'ять характеристик навчання через гру, важливо розглянути різний досвід, який асоціюється з ними у ширшому контексті розвитку мозку. Ми не вважаємо, що різні ділянки мозку «дорослішають» і визначають навчання окремо, а навпаки – кожна ділянка обробляє певну поточну інформацію, що надходить ззовні, і має міцні зв'язки з іншими ділянками мозку. Загалом встановлені факти демонструють, як п'ять характеристик ігрового навчання сприяють розвитку та активізації взаємопов'язаних процесів мозку в міру зростання дітей і підтримують їх здатність навчатись.

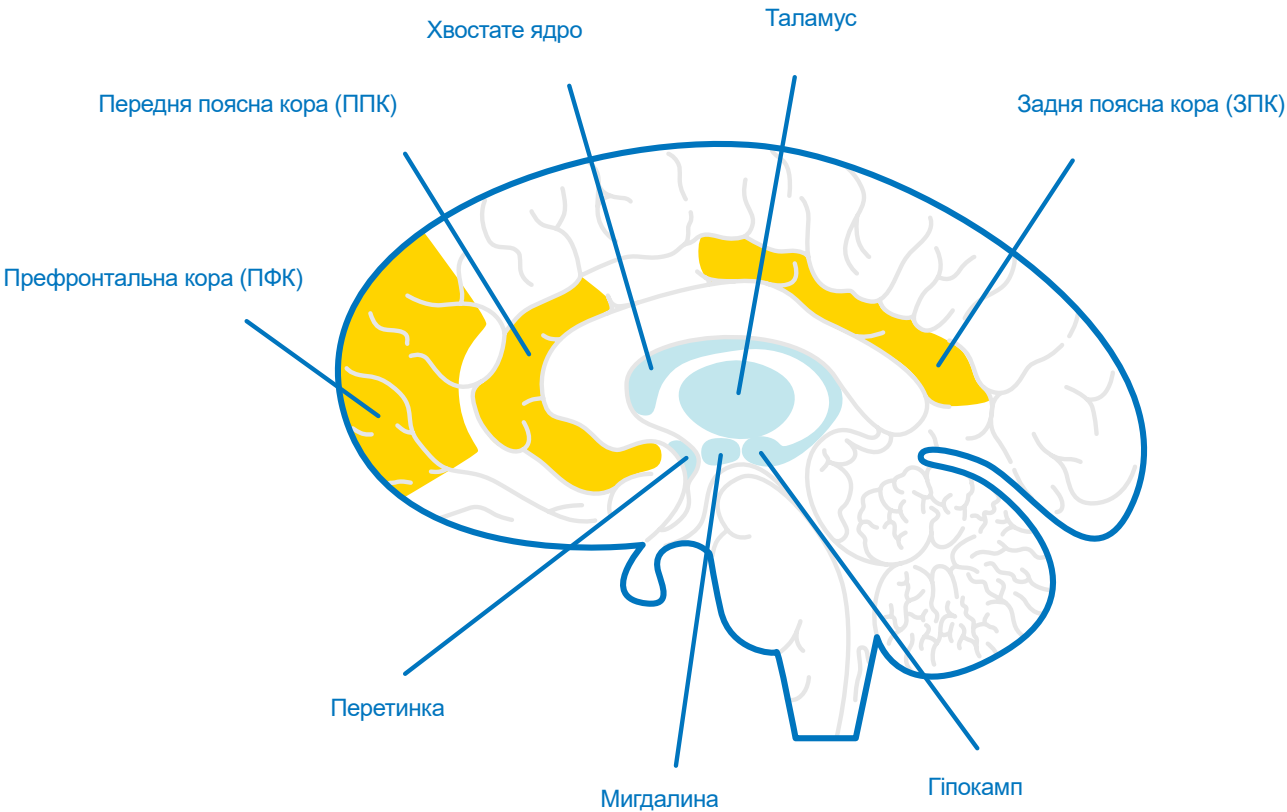
Ми розглядаємо навчання в контексті досвіду як взаємопов'язаний цілісний процес, тобто такий, що пов'язаний з розвитком багатьох різних сфер, а не лише певних умінь, закладених в академічні показники. У мозку процес навчання пов'язаний з нейронною здатністю сприймати, обробляти і реагувати на різні отримувані за допомогою органів чуття чи в інші способи сигнали як на базовому, так і на більш складному рівнях. Такі різноманітні сигнали часто слугують сприятливими факторами (якщо не основою) для належного розвитку спрямованої на навчання поведінки дітей. Наприклад, завдяки безпосередній взаємодії з батьками чи вихователями немовля отримує візуальну, слухову, мовну та соціально-емоційну інформацію для розвитку гостроти зору, розпізнавання на слух, упізнавання облич та емоційної прив'язаності (Fox, Levitt і Nelson, 2010). Своєю чергою, це сприяє розвитку мовлення, когнітивного контролю, регуляції емоцій у міру зростання дитини.

П'ять основних характеристик навчання через гру — значуща, соціальна, активна, мотивуюча та радісна, сприяють різносторонньому отриманню інформації, стимулюючи у такий спосіб взаємопов'язані нейронні мережі, відповідальні за навчання (див. позначені жовтим кольором ділянки зображення на с. 5).

Отже, якість нашого життєвого досвіду впливає на наш розвиток, починаючи з раннього віку. Беручи до уваги цей факт, у нашому дослідженні ми аналізуємо, яким чином кожна з характеристик пов'язана з відповідними когнітивними процесами. У наведеній таблиці зазначені головні висновки, отримані з наукової літератури стосовно кожної характеристики.

Основні висновки

Радісна	Значуща	Активна	Мотивуюча	Соціальна
Емоції – невіддільна складова нейронних зв'язків, що відповідають за навчання	Встановлення зв'язків між відомими і невідомими стимулами полегшує для мозку процес навчання, який потребує багато зусиль	Активне залучення підсилює активізацію мозку, пов'язану з ідентифікацією, прийняттям рішень і станом потоку	Асоційована з мотивацією наполегливість пов'язана із системою винагородження та нейронними мережами, відповідальними за пам'ять, що сприяє навчанню	Позитивна взаємодія між вихователем та дитиною допомагає створити нейронні зв'язки для розвитку здорового соціально-емоційного контролю і захисту від таких перешкод для навчання, як стрес
Радість пов'язана з підвищеним рівнем дофаміну в мозку, що відповідає за кращу пам'ять, увагу, когнітивну гнучкість, креативність та мотивацію	Завдяки значущому досвіду з'являються нові стимули, пов'язані з наявними ментальними структурами; реагування на такі стимули у мозку пов'язане із заснованим на аналогії мисленням, пам'яттю, усвідомленням власних психічних функцій (метапізнання), інсайтами, мотивацією, системою винагород тощо	Активна участь покращує процеси запам'ятовування і пригадування, що сприяє навчанню	У поєднанні з практикою мотивуюча діяльність частіше звертається до нейронних мереж, що стосуються пошуку альтернативних дій та рішень, гнучкого мислення та креативності	Соціальна взаємодія у ранньому віці сприяє пластичності процесів у мозку, що пізніше допомагає впоратися з негараздами у житті
		Завдяки активній залученості у мозку використовуються зв'язки, які відповідають за навички контролю виконання дій, такі, як нейтралізація відволікаючих факторів, що сприяє короткотривалому і довготривалому навчанню		Соціальна взаємодія активізує у мозку зв'язки, пов'язані з ідентифікацією психологічного стану інших людей, що може бути дуже важливим фактором для взаємодії протягом навчання



Медіальний розріз мозку та ділянки, пов'язані з п'ятьма характеристиками

# Радісна

Серед різних культур та для різних видів тварин гра вважається тим досвідом, що невід’ємно пов’язаний з розвитком (Huizinga, 1950; Burghardt, 2010; Smith, 2010). Гра дуже часто пов’язана з виявом позитивного самопочуття і радості, відчуттям задоволення і втіхи (Huizinga, 1950; Rubin, Fein і Vandenberg, 1983). Дехто стверджує, що позитивні емоції, такі, як радість, виконують еволюційну роль: вони дозволяють нам взаємодіяти й активно реагувати відповідно до умов середовища (Burgdorf і Panksepp, 2006).

У літературі з нейронауки зв’язок між радістю і навчанням досліджувався у застосуванні до дорослих і тварин (Burgdorf і Panksepp, 2006; Söderqvist та інші, 2011). Здатність людини відчувати радість контролюється субкортикальними лімбічними зв’язками (позначена блакитним кольором ділянка зображення на с. 5), які пов’язані з емоційними функціями і наявні також у тварин (Burgdorf і Panksepp, 2006). Нейронні мережі, які мають відношення до інших ділянок мозку, що відповідають за процеси мислення вищого порядку при навчанні (ділянки кори головного мозку – позначена жовтим кольором ділянка зображення на с. 5), адаптивно реагують на такі емоційні відчуття (Burgdorf і Panksepp, 2006).

**Адаптація – це навчання, а радість мотивує нас продовжувати адаптацію до середовища і навчатись з його допомогою. Ймовірно, радість значною мірою пов’язана з нашою здатністю вчитись.**

## Навчання є емоційним і пов’язане із системою винагород

Раніше емоції вважалися другорядним фактором для процесу пізнання при навчанні, однак сучасні дослідження дедалі більше виявляють, що ці два аспекти тісно взаємопов’язані (Immordino-Yang і Damasio, 2007). Розгляд емоцій окремо від процесу пізнання був би неповним. Емоції сприяють раціональному мисленню, оскільки дають можливість врахувати складову емоційної реакції при прийнятті рішень (Immordino-Yang і Damasio, 2007). Роль емоцій у нашій здатності виконувати обґрунтовані дії за непередбачуваних обставин – це те, що вчені називають «емоційним кермом» (Immordino-Yang & Damasio, 2007, ст. 3). Враховуючи роль емоцій у спрямуванні нашого навчання, радість, мабуть, є одним з найпотужніших рушіїв.

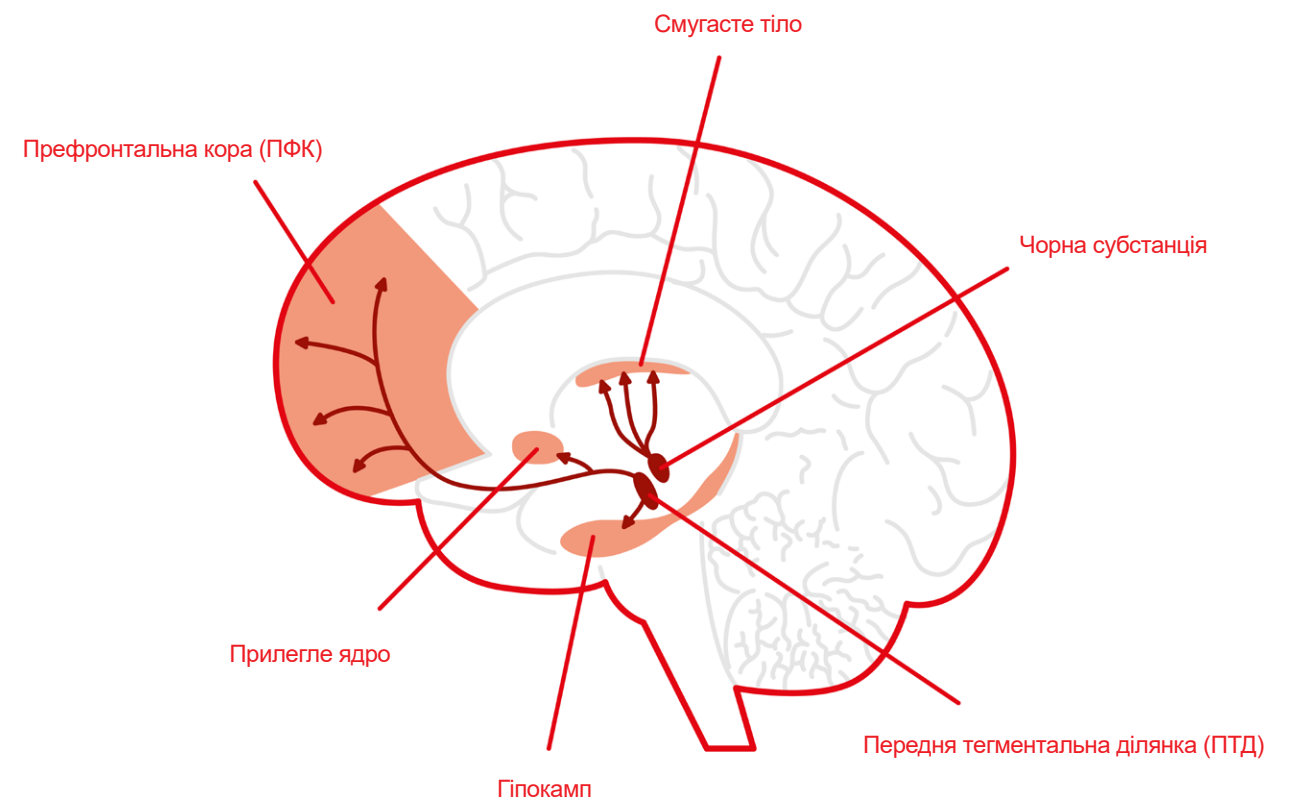
## Радість викликає стан позитивного самопочуття, сприяючи багатьом вищим когнітивним функціям.

Радість пов’язана зі змінами нейронних зв’язків у мозку, наприклад, підвищенням рівня дофаміну, що викликає позитивні емоції. Дофамін – це нейромедіатор, який сприяє системі винагород, отриманню задоволення та емоціям у мозку, а також нашим діям у відповідь на них. Вплив дофаміну спостерігається у тих ділянках мозку, які, як виявлено, пов’язані із системою винагород, зокрема це середній мозок, смугасте тіло, гіпокамп і префронтальна кора (див. зображення на с. 7). Дофамін ініціює взаємодію між згаданими ділянками мозку, у зв’язку з чим змінюються наші реакції і дії. Наявністю нейромедіаторів дофаміну в нейронах середнього мозку пов’язують з процесом очікування

винагород та відповідним пошуком інформації у передчутті цієї винагороди (Bromberg-Martin & Hikosaka, 2009, цит. Cools, 2011).

Виникнення, як наслідок, позитивного самопочуття пов’язане з низкою когнітивних переваг, таких, як підвищена увага, краща короточасна пам’ять, когнітивна гнучкість і контроль стресу, що корисні для навчання

(Cools, 2011; Dang, Donde, Madison, O’Neil, Jagust, 2012; McNamara, Tejero-Cantero, Trouche, Campo-Urriza і Dupret, 2014). Наразі представлено чимало механізмів, що пояснюють вплив дофаміну на структури мозку (Cools, 2011), однак багато дослідників погоджуються з тим, що наявність дофаміну, пов’язаного з відчуттям радості, може викликати кращу здатність опрацьовувати та запам’ятовувати інформацію. Таким чином,



Медіальний розріз мозку, що ілюструє розповсюдження дофаміну



розуміння функціонування системи винагород може допомогти нам дослідити вплив дофаміну на пам'ять, когнітивну гнучкість, мотивацію та креативність, оскільки вони роблять чималий внесок у навчання.

### Пам'ять

Вплив дофаміну на пам'ять і навчання можна продемонструвати на прикладі деяких тварин. Стимуляція дофаміном у середньому мозку мишей, поміщених у нове середовище, пов'язана з більшою активністю у ділянці гіпокампу, що зазвичай поліпшує пригадування мишами завдання (McNamara та інші, 2014). Крім того, стимуляція дофаміном під час вивчення місцезнаходження нової цілі була пов'язана з кращою активацією нейронів гіпокампу у стані спокою. Ці результати свідчать про сприятливу роль дофаміну при запам'ятовуванні і пригадуванні нової інформації, принаймні стосовно просторової уяви і пам'яті (McNamara та інші, 2014).

### Увага до цілей і когнітивна гнучкість

Завдяки наявності дофаміну під час того чи іншого радісного досвіду ділянки мозку, пов'язані із системою винагород і плануванням, часто працюють в тандемі, щоб можна було зосередити увагу на інформації, яка стосується досягнення цілей (Vincent, Kahn, Snyder, Raichle і Buckner, 2008, цит. Dang та інші, 2012). Це дозволяє людям не тільки визначати потрібну інформацію, а й також планувати відповідну спрямовану на досягнення цілей поведінку. Тобто у ситуаціях, коли відбувається навчання, дофамін може допомогти з когнітивною гнучкістю, якої ми потребуємо, коли вирішуємо, яку саме інформацію обрати, плануючи досягнення цілей.

### Мотивація і допитливість

Внутрішня мотивація та допитливість – це ті дві риси, які постійно згадуються при розгляді п'яти характеристик навчання через гру, особливо у випадку радості (можливо, через її спонтанний характер). У літературі також відзначається вплив допитливості і внутрішньої мотивації на активізацію нейронної активності (Kang та інші 2009). Результати функціональної магнітно-резонансної томографії (фМРТ) показують, що, чим більше ми передчуваємо позитивні наслідки (а це часто відбувається, коли ми природно мотивовані), тим більшою мірою активність у відповідних структурах мозку покращує нашу здатність утримувати в пам'яті одержану інформацію (Gruber, Gelman і Ranganath, 2014). Незначні зміни в умовах оточуючого середовища можуть викликати у нас передчуття навчання і стимулювати мозок ефективніше утримувати інформацію (Weisberg, Hirsh-Pasek, Golinkoff і McCandliss, 2014).

### Креативність

Дофамін може поліпшувати процеси, які, як було встановлено, мають стосунок до креативного мислення, наприклад, короткочасної пам'яті, однак такий зв'язок може бути ще більш безпосереднім. Тоді як загальний механізм до кінця незрозумілий, було з'ясовано, що індивідуальна креативність має стосунок до активації у мозку структур, пов'язаних із системою винагород на основі впливу дофаміну (Takeuchi та інші, 2010), а це дозволяє припустити, що відчуття радості, ймовірно, пов'язане з креативним мисленням.

### Пластичність

Також наявні докази, які дозволяють припустити, що хімічні реакції у мозку, пов'язані з відчуттям радості, можуть впливати на пластичність, завдяки чому мозок може продовжувати адаптуватися до нової інформації і даних, що надходять з оточуючого середовища (Nelson, 2017; Söderqvist та інші, 2011). Таким чином відчуття радості може підвищувати рівень дофаміну в мозку, що, своєю чергою, може покращувати здатність адаптуватися і вчитися на основі нових ситуацій.





# Значуща

Навчання зазвичай пов'язане з переходом від невідомого до знайомого, або від такого, що потребує зусиль, до автоматичного опрацювання. Відчуття значущості може забезпечувати простір для такого переходу. Можливості контекстуального навчання, міркування за аналогією, метапізнання, мотивація можуть сприяти поглибленому розумінню, коли є відчуття значущості.

## Спрямовуючи навчання від зусиль до автоматичного опрацювання

У літературі з нейронауки продемонстровано, як значущий досвід стає в нагоді, залучаючи нейронні мережі, які допомагають нам зрозуміти, у чому полягає сенс того, чому ми навчаємось. Припускається, що вивчення нового матеріалу задіює такі два види нейронних структур мозку: систему швидкого засвоєння знань і систему пізнішого засвоєння знань (Bussey та інші, 1996; Keng і Gabriel, 1998, цит. Luu, Tucker, Stripling, 2007). Перший вид нейронної мережі сприяє швидкому та сфокусованому отриманню знань, виявленню невідповідностей або потенційних загроз. Потім друга мережа допомагає нам із вбудовуванням нової інформації у наявні ментальні моделі (Luu, Tucker, Stripling, 2007).

## Міркування за аналогією

Значущість досвіду допомагає дітям встановлювати зв'язки між невідомою і вже знайомою для них інформацією на основі вищих когнітивних процесів. Одна з форм когнітивного процесу, що розглядається у літературі, а саме міркування за аналогією, використовується для встановлення зв'язків між відомим і невідомим. Міркування за аналогією – це спосіб мислення, що допомагає нам зазирнути за очевидні відмінності, щоб розуміти аналогії у предметах, поняттях або відносинах (наприклад, розуміння того, що мед отримується від бджіл, як і молоко від корів, або що трикутники використовуються у повсякденному житті). Докази свідчать про те, що цей вид мислення використовує

основні ділянки мозку, які задіяні при абстрактному мисленні, а також спеціальні ділянки мозку, пов'язані з вирішенням завдань за аналогією (Hobeika, Diard-Detoeuf, Garcin, Levy і Volle, 2016). Автори припускають, що кращий функціональний зв'язок між цими двома ділянками допомагає пов'язувати зовнішні стимули з наявними когнітивними моделями.

## Перенесення знань

Коли ми вважаємо навчання значущим, знання, отримані в одній сфері, можуть бути перенесені в нові, реальні умови. Є докази, що підтверджують неврологічні зміни, коли відчуття значущості забезпечує можливості для передачі знань, навіть в разі відсутності когнітивного завдання (Gerraty, Davidow, Wimmer, Kahn і Sohomy, 2014). Більш того, Герреті (Gerraty та ін., 2014) встановили, що активне перенесення знань може стосуватись активності у ділянках мозку, які відповідають за пов'язане з пам'яттю навчання і гнучке уявлення. Зрештою зменшення ускладненої активності в ділянках мозку, пов'язаних із запам'ятовуванням, було помічено тоді, коли нові знання стають більш спорідненими з уже наявними знаннями.

## Метакогнітивні процеси і впевненість

Усвідомлення власних психічних функцій (метапізнання) часто визначається як важлива складова самостійно контрольованого навчання. Здатність розпізнавати і розуміти власні здібності та процеси мислення допомагає орієнтуватись у нових контекстах, опановуючи нову інформацію і розбудовуючи значущий досвід. Спостереження за собою у власному середовищі і формування відповідних суджень засновані на здатності отримувати доступ до короточасної пам'яті і передбачати майбутні дії (Müller, Tsalas, Schie, Meinhardt, Proust, Sodian і Paulus, 2016). Коли метакогнітивні вміння дозволяють нам бачити важливі речі в оточенні і робити точні передбачення стосовно наших дій, рівень нашої впевненості

**Поверхнєве навчання**  
означає, що ми  
запам'ятовуємо ключові  
факти і принципи

Шестикутник  
має шість  
прямих сторін  
та шість кутів

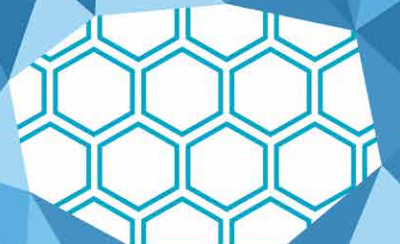
Трикутник має три  
прямих сторони та  
три кути – сума його  
кутів становить 180  
градусів

**Поглиблене навчання**  
дозволяє нам  
об'єднати фактичні  
знання з реальним  
досвідом і дійсно  
розуміти його значення

Якщо ви створюєте трикутник  
з трьох паличок з петлями на  
кутах, він перетворюється на  
стійку та міцну фігуру. Ось чому  
трикутники використовуються  
у будівництві мостів, кранів,  
будинків тощо



Зверніть увагу, що  
сніжинки є симетричними  
шестикутниками. Ця  
форма відображає те, як  
пов'язані молекули води  
кристала



Шестикутники є  
корисними формами,  
наприклад, для вуликів.  
Вони використовують  
найменшу кількість  
воску, щоб тримати  
більше меду

підвищується. Зроблено припущення, що впевненість, обумовлена метакогнітивними вміннями, може стимулювати поведінку з пошуку винагород та краще пригадування у важливих ситуаціях (Molenberghs, Trautwein, Böckler, Singer і Kanske, 2016). Більша впевненість пов'язана з підвищеною активністю, а також збільшеним рівнем дофаміну у тих ділянках мозку, які стосуються системи винагород, пам'яті та регуляції моторики (Molenberghs та інші, 2016).

#### Пам'ять

Для значущого досвіду характерно поєднання знайомих та нових стимулів, які ініціюють нейронні мережі, задіяні до осмислення нового, пам'яті та системи винагород, що сприяють навчанню (Bunzeck, Doeller, Dolan, і Düzel, 2012). Дослідження підтверджують, що знайомі стимули разом з новими винагородами можуть викликати більшу активність гіпокампу у порівнянні зі знайомими стимулами в поєднанні з передбачуваністю та вже звичними винагородами (Bunzeck та інші, 2011).

#### Усвідомлення та інсайти

Можна пригадати «Ага!-моменти», які часто супроводжують вирішення якоїсь проблеми. Дослідники припускають, що отримання нових інсайтів потребує руйнування сталих ментальних уявлень задля сприйняття нової інформації і встановлення важливих зв'язків (Qiu, Li, Yang,

Luo, Li, Wu і Zhang, 2008). Дослідження показують, що в учасників, які проводять паралелі та раптом знаходять зв'язок між предметами чи явищами, демонструють сильну активацію тих ділянок кори головного мозку, що часто задіяні до когнітивного контролю, як-от відстеження конфліктів, інгібаторний контроль і перехід від одного завдання до іншого (Carlson, Zelazo і Faja, 2013; Kizilirmak, Thuerich, Foltz-Schoofs, Schott і Richardson-Klavehn, 2016).

#### Система винагород і мотивація

Зрештою, певні докази свідчать про те, що виникнення нових інсайтів пов'язане із запам'ятовуванням шляхом активації у мозку нейронних мереж системи винагород (Kizilirmak та інші, 2016). Природний механізм системи винагород активує гіпокамп, що сприяє запам'ятовуванню значущих зв'язків, які ми щойно встановили, а також їх подальшому пригадуванню (Kizilirmak та інші, 2016).

В сукупності виявлення значущих зв'язків при навчанні через гру спирається на різні когнітивні процеси, що активують у мозку систему винагород та поліпшують запам'ятовування. Всі ці фактори можуть бути потужними рушіями навчання. Саме тому доцільно забезпечувати для дітей матеріали, які будуть водночас новими і знайомими для них. Такий підхід можна застосувати, щоб сприяти відчуттю здобуття значущого досвіду у дітей, спрямовувати їхні дослідження під час гри, зокрема ті, що поглиблюють їхній зв'язок з навколишнім світом.

“ **Яка відмінність між початківцем та експертом? Аж ніяк не в тому, як багато вони знають, а в їхній здатності впізнавати значущі патерни у своїх знаннях, бачити взаємозв'язки та осягати цілісну картину.**

Роберт ДеХаан,  
(DeHaan, 2009)



# Активна



Активна залученість до отримання певного досвіду вимагає уваги та реакції. Діяльність і події, що можуть спонукати до активної залученості, мають безпосередній стосунок до нашого розгляду навчання через гру; важко уявити, що певний досвід може вплинути на нашу обізнаність і мислення без попереднього привернення нашої уваги. Активна включеність – це досвід, який є інтуїтивно знайомим, оскільки активні учасники певної діяльності, описуючи свої емоції, часто кажуть, що вони почуваються «мов за штурвалом», «в цілковитому захваті» і «втрачають відчуття часу». Характеристики такого досвіду іноді описують як такі, що пов'язані з агентністю або стимулюючим станом потоку (Csikszentmihalyi, 1975). На нейронному рівні активна участь асоціюється з мережами, які залучені до контролю уваги, цілеспрямованої поведінки, системи винагород, часової обізнаності, пригадування на основі довгострокової пам'яті і контролю стресу. Дослідження нейронних корелятивів досвіду, що характеризується активною участю, свідчать про участь лівої нижньої лобної звивини (НЛЗ) і лівого путамена (Ulrich, Keller, Hoenig, Waller і Grön, 2013). Ліва НЛЗ пов'язана з відчуттям контролю, особливо при виконанні складних і важких завдань (Ulrich та інші, 2013). Як виявляється, лівий путамен часто пов'язаний з цілеспрямованою поведінкою (Ulrich та інші, 2013). Виявлення обох цих нейронних субстратів свідчить на користь тієї гіпотези, що активна залученість задіює вищі когнітивні процеси, які сприяють навчанню.

## Агентність

Наш розгляд активної участі був би неповним без опису ролі агентності. Слугуючи, ймовірно, каталізатором навчання, агентність допомагає керувати нашими моделями поведінки, мотивуючи нас шукати інформацію і діяти. Сама по собі агентність здатна запустити цикл позитивного підкріплення, викликаючи відчуття впевненості, прогресу і позитивного самопочуття, що лише підсилюють агентність (Kuhn, Brass, і Haggard, 2012).

Для отримання додаткової інформації, що стосується зв'язку агентності з відповідними процесами, як-от пам'ять, див. роботи таких дослідників, як Kaiser, Simon, Kalis, Schweizer, Tobler і Mojzisch (2013), Holroyd і Yeung (2012), а також Jorge, Starkstein і Robinson (2010).

## Стан потоку

Важливим елементом досвіду активної участі є те, що такий досвід визначає стимули на правильних рівнях; а відповідний досвід та стимули допомагають нам активно долучатись до діяльності й активувати мережі системи винагород, якщо їх недостатньо. Це описано за результатами досліджень, які свідчать про зниження нейронної активності у мигдалині тих учасників, що активно задіяні у виконанні завдань (Ulrich та інші, 2013). Мигдалина допомагає з розпізнаванням загроз і відіграє основну роль у контролі стресу через гіпоталамо-гіпофізарну систему (Shonkoff і Garner, 2012). Ґрунтуючись на описах власного досвіду стану потоку, серед тих, хто описував відчуття більш глибокого «занурення», було помічено зниження активності у мигдалині (Ulrich та інші, 2013). Такі результати свідчать на користь зв'язку між меншою активністю у мигдалині та позитивними емоціями, що, як уже згадувалось, може підвищувати нашу мотивацію до навчання, а також, у ширшому контексті, зв'язку між активною включеністю і нашою здатністю навчатись.

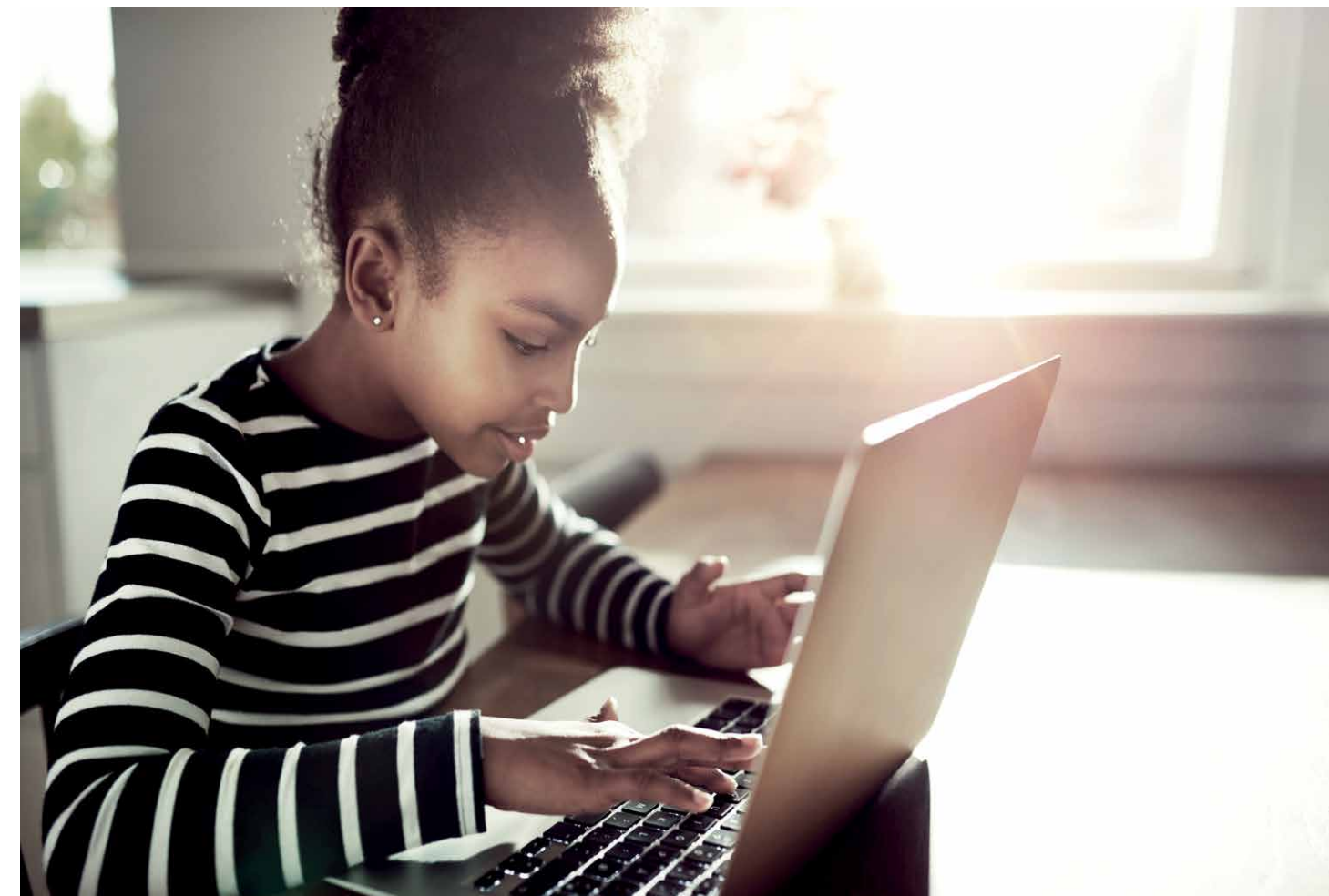
## Пам'ять

Залучення дітей на відповідному рівні також може відігравати роль у покращенні пам'яті, особливо короткострокової. У деяких дослідженнях припускається зв'язок між активною залученістю, розвитком пам'яті та пригадуванням інформації (Johnson, Miller Singley, Peckham, Johnson, і Bunge, 2014).

## Виконавчі функції

За результатами дослідження поведінки дітей стало відомо, що активна залученість до певної

діяльності пов'язана з навиками саморегуляції, як-от, наприклад, інгібаторний контроль. Для тривалої залученості до діяльності необхідна здатність залишатись вибірково сконцентрованим у поточній ситуації, нейтралізовувати відволікання й утримувати інформацію в голові (Diamond, 2013). Вплив активної включеності на виконавчі функції було виявлено у дослідженні, де порівнювалася поведінка дітей, які навчалися у школах за методикою Монтесорі, і дітей, які за нею не навчалися. Згідно з результатами, діти, які навчалися за методикою Монтесорі, менше відволікалися під час навчання, краще виконували завдання, пов'язані з виконавчими функціями у порівнянні з іншою групою дітей (Lillard і Else-Quest, 2006, цитує Carlson, Zelazo і Faja, 2013). Таким чином, ці докази спонукають до подальшого дослідження зв'язку між активною участю, здатністю до саморегуляції і навчанням дітей у ранньому віці.





# Мотивуюча

Мотивуючий досвід характеризується декількома ітераціями дій або думок для отримання можливих інсайтів на кожному новому раунді. Опанування і використання цього когнітивного вміння – дуже важливий крок у напрямку до навчання у ранньому віці та впродовж усього життя. В сучасних умовах постійних змін уміння розв'язувати проблеми більш актуальне, ніж будь-коли. Незалежно від того, чи потрібно створити швидкісний болід, чи вирішити проблему з непрацюючою побутовою технікою, чи попрацювати над складним проектом з невідомими відповідями, повторення підштовхує нас до пошуку нових рішень. Мотивуючий досвід пов'язаний з експериментуванням, уявою та вирішенням проблем. На основі постійних спроб і помилок ми також формуємо психологічну стійкість, яка сприяє навчанню протягом усього життя. Наш аналіз мотивуючого досвіду на нейронному рівні охоплює багато відповідних і досліджених когнітивних процесів, враховуючи наполегливість, контрфактичне мислення, когнітивну гнучкість, креативність та дивергентне мислення.

## Наполегливість

Будь-який мотивуючий досвід містить елемент наполегливості. У корі головного мозку наполегливість пов'язана з прилеглим ядром (ПЯ), що відіграє головну роль в опрацюванні винагород (O'Doherty та інші, 2004; Nemmi, Nymberg, Helander і Klingberg, 2016). Зв'язки між двома ділянками мозку (прилеглим ядром і вентральним смугастим тілом) також мають відношення до наполегливості (Myers та інші, 2016). Не є дивним те, що вентральне смугасте тіло також задіяне в інгібаторному контролі та когнітивній гнучкості (Voorn, Vanderschuren, Groenewegen, Robbins і Pennartz, 2004), при тому, що обидва вказаних вміння допомагають нам у досягненні поставлених цілей. У деяких дослідженнях також припускається зв'язок між наполегливістю і позитивними досягненнями при когнітивному тренуванні короткочасної пам'яті у дітей (Nemmi та інші, 2016).

## Контрфактичне мислення і бачення ситуації з точки зору інших

Крім наполегливості, мотивуючий досвід та цикли повторення пов'язані з розглядом в думках альтернативних вже існуючим в реальності варіантів або контрфактичним мисленням. Контрфактичне мислення допомагає нам усвідомлювати минуле, робити когнітивні та емоційні судження і відповідним чином адаптувати свою поведінку (Van Hoeck, Watson і Barbey, 2015), підключаючи три когнітивних процеси, які визначають те, як ми вчимося. Означені ділянки мозку мають відношення до психічних уявлень різних сценаріїв, автобіографічної пам'яті і здатності до бачення ситуації з точки зору інших (Boorman, Behrens і Rushworth, 2011; Van Hoeck, Watson і Barbey, 2015). Такі процеси готують нас до передбачення наших рішень і адаптують нас до нової інформації. Для цього мозок інтерпретує зовнішній зворотний зв'язок, зумовлений нашими рішеннями, і здійснює судження в подальшому для посилення сприятливих результатів (Van Hoeck, Watson, і Barbey, 2015). Таким чином, мотивуючий досвід та відповідні повторення спонукають нас до контрфактичного мислення перед переходом до безпосередніх дій.

## Когнітивна гнучкість і креативне мислення

Вайсберг та Гопнік (Weisberg, Gopnik, 2013) також зробили припущення, що за допомогою подібних когнітивних розрахунків, пов'язаних з контрфактичним мисленням, використовуючи уяву, діти можуть аналізувати минулий досвід та можливі альтернативні наслідки у плануванні дій у майбутньому. Такі дії пов'язані з когнітивною гнучкістю, наприклад, відмовою від існуючих поглядів задля зміни власної точки зору відповідно до нових вимог (Diamond, 2013). На відміну від психічної стійкості когнітивна гнучкість прокладає шлях до креативного мислення.

Дивергентне мислення (один з аспектів креативності) може бути одночасно і рушієм, і наслідком мотивуючого досвіду та повторень.

Засновані на результатах функціональної магнітно-резонансної томографії (фМРТ) дослідження дивергентного мислення у вербальній і візуально-просторовій сферах переконливо свідчать про вплив латеральної префронтальної кори (ПФК) на креативність (Arden, Chavez, Grazioplene і Jung, 2010; Dietrich і Kanso, 2010; Kleibeuker, De Dreu і Crone, 2016). Такий висновок цікавий з точки зору двох аспектів. Латеральна ПФК має відношення до вищих когнітивних функцій, таких, як когнітивна гнучкість і вирішення проблем (Johnson і deHaan, 2015; Kleibeuker, De Dreu і Crone, 2016), і вона швидко розвивається у підлітковому віці (Johnson і deHaan, 2015). Зважаючи на інтенсивніший розвиток префронтальної кори у підлітковому віці, це може бути слушний час для активного залучення до креативного розв'язання проблем та мисленневих ітерацій.

## Пластичність

На підставі доказів можна припустити, що чим частіше ми здійснюємо мисленнєві ітерації, тим краще ми готові до них у майбутньому. Це, мабуть, очевидно і дуже добре помітно у випадку джазових музикантів, які часто виконують тривалі імпровізації. Справді, засновані на функціональній магнітно-резонансній томографії (фМРТ) дослідження дорослих музикантів виявили функціональний зв'язок між кількістю тренувань та здатністю до тривалої імпровізації (Pinho, De Manzano, Fransson, Eriksson, Ullén, 2014; Gibson, Folley, Park, 2008), у зв'язку з чим можна припустити, що досягнення у креативності – це не обов'язково невимушені спроби, якими їх часто вважають, а навпаки, їх можна поліпшувати, тренуючись навіть у дорослому віці.





# Соціальна

Насамкінець ми розглядаємо роль соціальної взаємодії у навчанні. За своєю суттю навчання можна вважати соціальним процесом. Ми навчаємось, взаємодіючи з іншими в контексті нашого оточуючого середовища і культури (Vygotsky, 1978). Популярні теорії розвитку дитини, зокрема, теорія екологічних систем Бронфенбреннера, нагадують нам, що на добробут окремої особи впливає динамічна взаємодія різних соціальних мереж, таких, як вихователі, школи та суспільство в цілому (Bronfenbrenner, 1977).

Дослідження з нейронауки продемонстрували, що, починаючи з ранніх етапів розвитку, соціальна взаємодія відіграє значну роль у формуванні нашого мозку і розвитку моделей поведінки (Nelson, 2017). Відразу ж після народження взаємодія дітей з дбайливими дорослими (також відома як «serve-return» взаємодія) допомагає сформувати міцну нейронну основу у ділянках мозку, що відповідають за розвиток базових функціональних систем, таких, як зір і мова (Fox, Levitt і Nelson, 2010).

Крім базових сенсорних функцій, соціальна взаємодія також дуже важлива для розвитку вищих процесів (Hensch, 2016). Ті ж самі функції дбайливої взаємодії, які підтримують нашу здатність бачити і чути, сприяють нашій когнітивній, соціальній та емоційній саморегуляції в майбутньому. Дослідження показує, що діти можуть сприймати емоційну реакцію дорослого і відповідним чином реагувати на неї, наприклад, усміхнутись у відповідь або уникати предмета, стосовно якого піклувальник демонструє страх (Nararé і Frith, 2014). Така чутливість до соціальних підтекстів формує нейронний етап процесів регуляції, що, як підтвердили дослідження і практика, мають велике значення для навчання у складних умовах оточуючого середовища

## Дбайливі відносини дуже важливі

Якість взаємодії з батьками чи вихователем відіграє важливу роль, оскільки така взаємодія є основним джерелом для соціально-емоційного розвитку. Позитивні стосунки з вихователем можуть захистити дітей від шкідливого впливу негативного

досвіду, допомагаючи контролювати реакцію на стрес та активізуючи інші нейронні мережі мозку, які здатні супроводжувати нас у повсякденному житті (Центр розвитку дитини (CDC) при Гарвардському університеті, 2012; CDC, 2016). В негативних умовах мозок витрачає більше енергії на виявлення і захист від можливих загроз, забираючи таким чином ресурси, які можуть бути витрачені на триваліше планування, когнітивний розвиток і саморегуляцію, необхідні для подолання проблем (Lupien, Gunnar, McEwen і Heim, 2009).

Важливість позитивних і дбайливих відносин з вихователем у ранньому дитинстві також можна відслідкувати, проаналізувавши, що відбувається з дитиною в разі відсутності соціальної взаємодії. Без заснованих на підтримці, стимулюванні і піклуванні відносин функціонування мозку та задіяння всього його потенціалу стає проблемним. У дітей, які перебували в умовах надмірного нехтування або зазнавали соціальної депривації в інституціоналізованих установах, помічено знижену електричну активність мозку, пов'язану з проблемами у навчанні, відповідно до результатів електроенцефалограми (ЕЕГ) (Nelson, Fox і Zeanah, 2013). Однак вчасне і відповідне забезпечення для дітей умов, у яких вони оточені позитивною і дбайливою соціальною взаємодією, може допомогти покращити або навіть докорінно змінити негативні когнітивні, соціальні і фізичні наслідки нехтування

## Взаємодія з однолітками та саморегуляція

Тоді як у ранньому віці соціальні та емоційні системи дітей в першу чергу залежать від взаємодії з батьками або іншими дорослими, які дбають про них, пізніше у дитинстві і в підлітковому віці діти більше налаштовані на взаємодію з однолітками (Nelson, 2017). Взаємодія з однолітками може допомогти дітям розвинути такі вміння, як володіння мовою, співпраця і соціальне навчання. Соціальна взаємодія також може забезпечити підґрунтя для практики навичок саморегуляції, таких, як контроль заборон та вчинення відповідних дій, що розвивають навички виконавчих функцій (Diamond, 2013). Дослідження гри у тваринному світі свідчать про те, що соціальна

взаємодія під час гри може сприяти розвитку тих ділянок мозку і нейронних мереж, які мають важливе значення для засвоєння відповідних навичок.

Соціальна взаємодія гризунів, що описується як енергійна ігрова метушня, як виявляється, формує префронтальну кору мозку і має вплив на саморегуляцію та планування (Bell, Pellis і Kolb 2010; Pellis і Pellis, 2007; Pellis, Pellis і Himmler, 2014). Виявлено, що за допомогою навчання через гру, пов'язану із соціальною взаємодією, в пацюків у «підлітковому віці» та, ймовірно, у дітей розвиваються важливі нейронні мережі, які сприяють навчанню.

## Адаптивність

Крім того, соціальна взаємодія при навчанні через гру в юному віці, як виявлено, підвищує адаптивність тварин до неочікуваних обставин. Дійсно, припускається, що «досвід гри в юному віці забезпечує для мозку більшу адаптивність в подальшому житті» (Pellis, Pellis і Himmler, 2014, с. 73), підвищуючи нейронну пластичність (Maier і Watkins, 2010; Himmler, Pellis і Kolb, 2013). І навпаки, тварини, позбавлені соціальної гри у ранньому і підлітковому віці, демонструють жорсткість і нетипово низький рівень соціальної поведінки у подальшому розвитку, навіть у випадку ресоціалізації (Baarendse, Counotte, O'Donnell і Vanderschuren, 2013; Nelson, 2017).



Дослідження пацюків, які є соціально ізольованими у ранньому віці, показують, що вони більш схильні до імпульсивності, неправильних моделей поведінки і проблем з прийняттям рішень у нових та складних ситуаціях (Baarendse та інші, 2013).

## Визначення психічного стану

Соціальна взаємодія також може допомагати нам у психічних процесах, пов'язаних з розумінням позиції (точки зору) інших людей, навіть за відсутності підказок (German, Niehaus, Roarty, Giesbrecht і Miller, 2004). Середовища, які забезпечують можливості для розуміння психологічного стану інших, можуть достатньою мірою ініціювати процеси, релевантні теорії розуму (German та інші, 2004), що, своєю чергою, є невіддільною складовою формальної і неформальної взаємодії під час навчання та викладання.

Незалежно від того, взаємодія відбувається з вихователями чи з однолітками, встановлені факти свідчать про важливість позитивної соціальної взаємодії для здорового розвитку. Саме тому ми акцентуємо увагу на ролі, яку соціальна взаємодія при навчанні через гру може відігравати в ефективному формуванні траєкторії розвитку дитини. Незважаючи на необхідність подальших докладних досліджень гри серед дітей для кращого розуміння такого впливу, збагачений зв'язок соціальної взаємодії та нейронної системи дійсно вартий уваги.





## Заключні думки

Наявна численна література, що підтверджує нейронний зв'язок різних аспектів навчання, які мають стосунок до п'яти визначених характеристик навчання через гру. Це дозволяє нам краще пояснити, як ігровий досвід може сприяти процесу навчання. Ми встановили, що механізми, описані у відповідній літературі, демонструють загальнопозитивний цикл. Іншими словами, кожна характеристика пов'язана з нейронними мережами, які мають стосунок до певних процесів у мозку, включаючи систему винагород, пам'ять, когнітивну гнучкість і контроль стресу, що активуються під час навчання. Активация таких нейронних зв'язків, своєю чергою, допомагає підготувати мозок дитини до подальшого розвитку (Puschmann, Brechmann і Thiel, 2013). Таким чином, відчуття радості допомагає дітям визначити значущість того, що вони роблять або вивчають, натомість активна включеність, мотивуюча та соціальна компоненти можуть забезпечити дітям основи і підґрунтя для навчання протягом всього життя.

Поки що наше розуміння нейронних аспектів, що сприяють навчанню, підтверджується, в першу чергу, дослідженнями дорослих і тварин. Більшість знань про навчання дітей отримані в результаті досліджень поведінки в межах предметів, пов'язаних з розвитком і когнітивними процесами. Однак нещодавній прогрес у розвитку неінвазивних методів нейровізуалізації дозволяє відстежувати зміни в активності мозку дітей у підлітковому і молодшому віці у невимушених обставинах задля нашого дослідження.

Майбутні дослідження з використанням таких методів можна спрямувати на підтвердження певних фактів, встановлених у дослідженнях дорослих і тварин. Зокрема, під час дослідження можна проводити експерименти у нових середовищах та умовах, які будуть менш обмеженими статичним обладнанням, наприклад, самостійне навчання через гру.

Планування досліджень з використанням інструментів, що не обмежують можливість руху і пересування, таких, як функціональна ближня інфрачервона спектроскопія і електроенцефалограма, може допомогти встановити певні характерні ознаки активності мозку при навчанні через гру в природних умовах. Це дозволить визначити середовища та умови, які сприяють навчанню, те, яким чином вони заохочують навчання, і те, для кого такі умови є найбільш ефективними. Таке докладніше розуміння може допомогти нам спланувати нейродослідження, які будуть надалі пояснювати відповідні нейронні механізми, що можуть сприяти навчанню через гру.

Напрямок, що стосується зв'язків між грою та навчанням, а також зв'язків між різними характеристиками навчання через гру, теж визначає можливості для подальшого дослідження. Наприклад, ми можемо з'ясувати, що радість пов'язана із системою винагород, які спонукають до креативного і гнучкого мислення; з іншого боку, ймовірно, що саме можливість прояву креативного і гнучкого мислення забезпечує радість при навчанні через гру.

Що стосується географічного контексту, ми також встановили, що дослідження у даній сфері більшою мірою стосуються західного світу (наприклад, Північної Америки та Європи). Оскільки різноплановий і позитивний досвід має суттєве значення для розвитку мозку і формування нейронних мереж у різних культурах, є доцільним краще зрозуміти, у який спосіб такий досвід проявляється залежно від культурного контексту. Певні аспекти культури (наприклад, специфічний мовний досвід, як-от двомовність (Baras, Bialystok, Castro і Sanchez, 2014)) можуть впливати на нейронний розвиток дітей і формувати процеси їх навчання та пізнання. Для забезпечення кращого розуміння необхідні дослідження у різних географічних та культурних контекстах.



# Література

Arden, R., Chavez, R. S., Grazioplene, R., & Jung, R. E. (2010). Neuroimaging creativity: A psychometric view. *Behavioural Brain Research*, 214(2), 143-156. doi:10.1016/j.bbr.2010.05.015

Baarendse, P. J., Counotte, D. S., Odonnell, P., & Vanderschuren, L. J. (2013). Early Social Experience Is Critical for the Development of Cognitive Control and Dopamine Modulation of Prefrontal Cortex Function. *Neuropsychopharmacology*, 38(8), 1485-1494. doi:10.1038/npp.2013.47

Barac, R., Bialystok, E., Castro, D.C., & Sanchez, M. (2014). The cognitive development of young dual language learners: A critical review. *Early Childhood Research Quarterly*, 29(4), 699-714. doi:10.1016/j.ecresq.2014.02.003

Bell, H. C., Pellis, S. M., & Kolb, B. (2010). Juvenile peer play experience and the development of the orbitofrontal and medial prefrontal cortices. *Behavioural Brain Research*, 207(1), 7-13. doi:10.1016/j.bbr.2009.09.029

Boorman, E. D., Behrens, T. E., & Rushworth, M. F. (2011). Counterfactual choice and learning in a neural network centered on human lateral frontopolar cortex. *PLoS Biology*, 9(6), e1001093. doi:10.1371/journal.pbio.1001093

Bronfenbrenner, U. (1977). Toward an experimental ecology of human development. *American Psychologist*, 32, 513.

Bunzeck, N., Doeller, C. F., Dolan, R. J., & Duzel, E. (2012). Contextual interaction between novelty and reward processing within the mesolimbic system. *Human Brain Mapping*, 33(6), 1309-1324. doi:10.1002/hbm.21288

Burgdorf, J., & Panksepp, J. (2006). The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(2), 173-187. doi:10.1016/j.neubiorev.2005.06.001

Burghardt, G. M. (2010). Defining and recognizing play doi:10.1093/oxfordhb/9780195393002.013.0002

Carlson, S. M., Zelazo, P. D., & Faja, S. (2013). Executive function. In P. D. Zelazo (Ed.), *The oxford handbook of developmental psychology* (pp. 706-743). New York, NY: Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199958450.001.0001

Center on the Developing Child at Harvard University (2012). *The Science of Neglect: The Persistent Absence of Responsive Care Disrupts the Developing Brain: Working Paper No. 12*. Retrieved from www.developingchild.harvard.edu.

Center on the Developing Child at Harvard University. (2016). *From best practices to breakthrough impacts: A science-based approach to building a more promising future for young children and families*. http://www.developingchild.harvard.edu

Cools, R. (2011). Dopaminergic control of the striatum for high-level cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(3), 402-407. doi:10.1016/j.conb.2011.04.002

Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety* (1st ed. ed.). San Francisco:

Dang, L. C., Donde, A., Madison, C., O'Neil, J., P., & Jagust, W. J. (2012). Striatal dopamine influences the default mode network to affect shifting between object features. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(9), 1960. doi:10.1162/jocn\_a\_00252

DeHaan, R. L. (2009). Teaching Creativity and Inventive Problem Solving in Science. *CBE Life Sciences Education*, 8(3), 172–181. https://doi.org/10.1187/cbe.08–12–0081

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135.

Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822-848. doi:10.1037/a0019749

Duckworth, A. (2016). *Grit: The power of passion and perseverance* (1st ed.). New York, NY: Scribner.

Fox, S. E., Levitt, P., & Nelson, C. A. (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Development*, 81(1), 28-40. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01380.x

German, T. P., Niehaus, J. L., Roarty, M. P., Giesbrecht, B., & Miller, M. B. (2004). Neural correlates of detecting pretense: Automatic engagement of the intentional stance under covert conditions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1805-1817. doi:10.1162/0898929042947892

Gerraty, R. T., Davidow, J. Y., Wimmer, G. E., Kahn, I., & Shohamy, D. (2014). Transfer of learning relates to intrinsic connectivity between hippocampus, ventromedial prefrontal cortex, and large-scale networks. *The Journal of Neuroscience*, 34(34), 11297. doi:10.1523/JNEUROSCI.0185-14.2014

Gibson, C., Folley, B. S., & Park, S. (2009). Enhanced divergent thinking and creativity in musicians: A behavioral and near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 69(1), 162-169. doi:10.1016/j.bandc.2008.07.009

Gruber, M., Gelman, B., & Ranganath, C. (2014). States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit. *Neuron*, 84(2), 486-496. doi:10.1016/j.neuron.2014.08.060

Happé, F., & Frith, U. (2014). Annual research review: Towards a developmental neuroscience of atypical social cognition doi:10.1111/jcpp.12162

Hensch, T. K. (2016). The power of the infant brain. *Scientific American*, 314(2), 64-69.

Himmler, B., Pellis, S., & Kolb, B. (2013). Juvenile play experience primes neurons in the medial prefrontal cortex to be more responsive to later experiences. *Neuroscience Letters*, 556, 42-45. doi:10.1016/j.neulet.2013.09.061

Hobeika, L., Diard-Detoeuf, C., Garcin, B., Levy, R., & Volle, E. (2016). General and specialized brain correlates for analogical reasoning: A meta-analysis of functional imaging studies. *Human Brain Mapping*, 37(5), 1953-1969. doi:10.1002/hbm.23149

Holroyd, C., & Yeung, N. (2012). Motivation of extended behaviors by anterior cingulate cortex doi:10.1016/j.tics.2011.12.008

Huizinga, J. (1950). *Homo ludens : A study of the play element in culture*. New York: Roy Publishers.

Immordino-Yang, M., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 1(1), 3-10. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x

Johnson, E. L., Miller Singley, A., T., Peckham, A. D., Johnson, S. L., & Bunge, S. A. (2014). Task-evoked pupillometry provides a window into the development of short-term memory capacity. *Frontiers in Psychology*, 5, 218. doi:10.3389/fpsyg.2014.00218



Johnson, M. H., & de Haan, M. (2015). Developmental cognitive neuroscience: An introduction (4th ed.). West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.

Jorge, R. E., Starkstein, S. E., & Robinson, R. G. (2010). Apathy following stroke

Kaiser, S., Simon, J., Kalis, A., Schweizer, T. S., Tobler, P. N., & Mojzisch, A. (2013). The cognitive and neural basis of option generation and subsequent choice. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 13, 814-829.

Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., & Camerer, C. F. (2009). The wick in the candle of learning: Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychological Science*, 20(8), 963. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02402.x

Kizilirmak, J. M., Thuerich, H., Folta-Schoofs, K., Schott, B. H., & Richardson-Klavehn, A. (2016). Neural correlates of learning from induced insight: A case for reward-based episodic encoding. *Frontiers in Psychology*, 7 doi:10.3389/fpsyg.2016.01693

Kleibeuker, S. W., De Dreu, Carsten K W, & Crone, E. A. (2016). Creativity development in adolescence: Insight from behavior, brain, and training studies. *New Directions for Child and Adolescent Development*, 2016(151), 73-84. doi:10.1002/cad.20148

Kuhn, S., Brass, M., & Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935-1942. doi:10.1016/j.cortex.2012.09.002

Lupien, S. J., Gunnar, M. R., McEwen, B. S., & Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 434-445. doi:10.1038/nrn2639

Luu, P., Tucker, D. M., & Stripling, R. (2007). Neural mechanisms for learning actions in context. *Brain Research*, 1179, 89-105. doi:10.1016/j.brainres.2007.03.092

Maier, S. F., & Watkins, L. R. (2010). Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience. *Brain Research*, 1355, 52-60. doi:10.1016/j.brainres.2010.08.039

Mcnamara, C. G., Tejero-Cantero, Á, Trouche, S., Campo-Urriza, N., & Dupret, D. (2014). Dopaminergic neurons promote hippocampal reactivation and spatial memory persistence. *Nature Neuroscience*, 17(12), 1658-1660. doi:10.1038/nn.3843

Molenberghs, P., Trautwein, F., Böckler, A., Singer, T., & Kanske, P. (2016). Neural correlates of metacognitive ability and of feeling confident: A large-scale fMRI study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(12), 1942.

Müller, B. C. N., Tsalas, N. R. H., van Schie, H. T., Meinhardt, J., Proust, J., Sodian, B., & Paulus, M. (2016). Neural correlates of judgments of learning – an ERP study on metacognition. *Brain Research*, 1652, 170-177. doi:10.1016/j.brainres.2016.10.005

Myers, C. A., Wang, C., Black, J. M., Bugescu, N., & Hoeft, F. (2016). The matter of motivation: Striatal resting-state connectivity is dissociable between grit and growth mindset. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(10), 1521-1527. doi:10.1093/scan/nsw065

Nelson, C., Fox, N., & Zeanah, C. (2013). Anguish of the abandoned child. *Scientific American; Sci.Am.*, 308(4), 62-67.

Nelson, E. E. (2017). Learning through the ages: How the brain adapts to the social world across development. *Cognitive Development*, doi:10.1016/j.cogdev.2017.02.013

Nemmi, F., Nymberg, C., Helander, E., & Klingberg, T. (2016). Grit is associated with structure of nucleus accumbens and gains in cognitive training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(11), 1688-1699. doi:10.1162/jocn\_a\_01031

O'Doherty, J., Dayan, P., Schultz, J., & Deichmann, R. (2004). Dissociable roles of ventral and dorsal striatum in instrumental conditioning. *Science*, 304(5669), 452-454.

Pellis, S. M., & Pellis, V. C. (2007). Rough-and-Tumble Play and the Development of the Social Brain. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 95-98. doi:10.1111/j.1467-8721.2007.00483.x

Pellis, S. M., Pellis, V. C., & Himmler, B. T. (2014). How play makes for a more adaptable brain: A comparative and neural perspective. *American Journal of Play*, 7(1), 73-98.

Pinho, A. L., Manzano, O. D., Fransson, P., Eriksson, H., & Ullen, F. (2014). Connecting to Create: Expertise in Musical Improvisation Is Associated with Increased Functional Connectivity between Premotor and Prefrontal Areas. *Journal of Neuroscience*, 34(18), 6156-6163. doi:10.1523/jneurosci.4769-13.2014

Puschmann, S., Brechmann, A., & Thiel, C. M. (2013). Learning-dependent plasticity in human auditory cortex during appetitive operant conditioning. *Human Brain Mapping*, 34(11), 2841.

Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y., Li, Y., Wu, Z., & Zhang, Q. (2008). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and Cognition*, 68(1), 100-106. doi:10.1016/j.bandc.2008.03.004

Rubin, K. H., Fein, G. G., & Vandenberg, B. (1983). Play. *Handbook of Child Psychology*, 4, 693-774.

Shonkoff, J. P., & Garner, A. S. (2012). The lifelong effects of early childhood adversity and toxic stress. *American Academy of Pediatrics*, 129(1), e246. doi:10.1542/peds.2011-2663

Smith, P. K. (2010). Children and play. Chichester, West Sussex : Malden, MA:

Söderqvist, S., Bergman Nutley, S., Peyrard-Janvid, M., Matsson, H., Humphreys, K., Kere, J., & Klingberg, T. (2012). Dopamine, working memory, and training induced plasticity: Implications for developmental research. *Developmental Psychology*, 48(3), 836-843. doi:10.1037/a0026179

Takeuchi, H., Taki, Y., Sassa, Y., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Fukushima, A., & Kawashima, R. (2010). Regional gray matter volume of dopaminergic system associate with creativity: Evidence from voxel-based morphometry. *NeuroImage*, 51(2), 578-585. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.02.078

Ulrich, M., Keller, J., Hoenig, K., Waller, C., & Grön, G. (2014). Neural correlates of experimentally induced flow experiences. *NeuroImage*, 86, 194-202. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.08.019

Van Hoeck, N., Watson, P. D., & Barbey, A. (2015). Cognitive neuroscience of human counterfactual reasoning doi:10.3389/fnhum.2015.00420

Van Hoeck, N., Begtas, E., Steen, J., Kestemont, J., Vandekerckhove, M., & Van Overwalle, F. (2014). False belief and counterfactual reasoning in a social environment. *NeuroImage*, 90, 315-325. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.12.043

Voorn, P., Vanderschuren, Louk J M J, Groenewegen, H. J., Robbins, T. W., & Pennartz, C. M. A. (2004). Putting a spin on the dorsal–ventral divide of the striatum. *Trends in Neuroscience*, 27(8), 468-474. doi:10.1016/j.tins.2004.06.006

Vygotsky, L. S. (1978). In Cole M. (Ed.), *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge:

Weisberg, D. S., & Gopnik, A. (2013). Pretense, counterfactuals, and bayesian causal models: Why what is not real really matters. *Cognitive Science*, 37(7), 1368-1381. doi:10.1111/cogs.12069

Weisberg, D. S., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., & Mccandliss, B. D. (2014). Mise en place: Setting the stage for thought and action. *Trends in Cognitive Sciences*, doi:10.1016/j.tics.2014.02.012

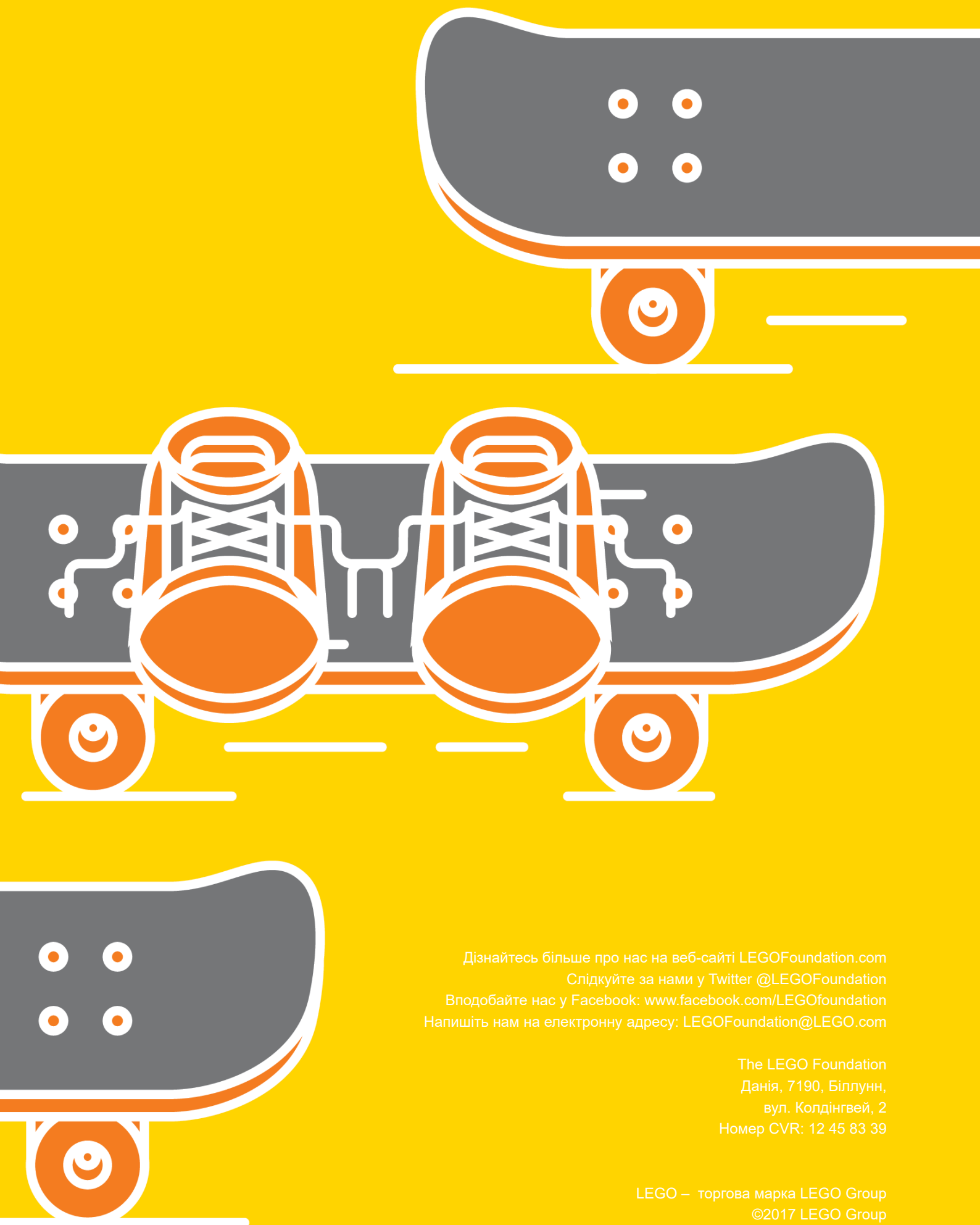
Zosh, J. M., Hopkins, E. J., Jensen, H., Liu, C., Neale, D., Hirsh-Pasek, K., Solis, S. L., & Whitebread (2017). Learning through play: a review of the evidence (white paper). The LEGO Foundation, DK.

Image credits

Page 4:  
Credit: Creative Commons retrieved from [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Density\\_of\\_moral\\_neuroscience\\_studies\\_fnint-07-00065-g001.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Density_of_moral_neuroscience_studies_fnint-07-00065-g001.jpg)

Page 7:  
Credit: Creative Commons retrieved from [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Pubmed\\_equitativa\\_hormonal.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Pubmed_equitativa_hormonal.png)





Дізнайтесь більше про нас на веб-сайті [LEGOFoundation.com](http://LEGOFoundation.com)  
Слідкуйте за нами у Twitter [@LEGOFoundation](https://twitter.com/LEGOFoundation)  
Вподобайте нас у Facebook: [www.facebook.com/LEGOfoundation](https://www.facebook.com/LEGOfoundation)  
Напишіть нам на електронну адресу: [LEGOFoundation@LEGO.com](mailto:LEGOFoundation@LEGO.com)

The LEGO Foundation  
Данія, 7190, Біллунн,  
вул. Колдінгвей, 2  
Номер CVR: 12 45 83 39

LEGO – торгова марка LEGO Group  
©2017 LEGO Group