



УДК 618.38-007.271-005-08:612.11-053.31

DOI: [https://doi.org/10.24144/1998-6475.2025.2.\(68\).82-96](https://doi.org/10.24144/1998-6475.2025.2.(68).82-96)

РОЛЬ ДОСЛІДЖЕНЬ ПУПОВИННОЇ КРОВІ У НОВОНАРОДЖЕНИХ

Іваньо В. В.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», медичний факультет, кафедра педіатрії з дитячими інфекційними хворобами, м. Ужгород

Резюме. *Вступ.* Оцінка параметрів пуповинної крові в режимі реального часу має значення для процесу клінічного прийняття рішень. Унікальний біохімічний профіль та клітинний склад пуповинної крові підкреслює потенціал як діагностичного інструменту, так і терапевтичної модальності.

Мета дослідження. Проаналізувати та оцінити норми та причини зміни композиції пуповинної крові порівняно з периферичною кров'ю, оцінити шляхи покращення інтерпретації показників з метою покращення догляду для матерів і новонароджених.

Матеріали та методи. Проведено аналіз літературних джерел як зарубіжної, так і вітчизняної наукової літератури за останні десять років із тематики композиції пуповинної крові в нормі та при патології на основі інформаційного пошуку у бібліографічних базах даних: Web of Science, Scopus, PubMed, Springer, Acronym Finder, ACP Journal Club, Medscape.

Результати досліджень. Як елемент ранньої діагностики, аналіз біомаркерів відкриває нові можливості для цільового моніторингу під час і після пологів, що кардинально змінює надання акушерської допомоги. Поточні протоколи часто не передбачають систематичного аналізу біохімічного складу пуповини, що веде до втрати шансів на раннє втручання. Таким чином, є нагальна потреба у включенні таких оцінок до щоденної клінічної практики. Література вказує, що встановлення специфічних біохімічних порогів допоможе лікарям ідентифікувати новонароджених, які потребують пильного нагляду або лікування, тим самим знижуючи ризики гіпоксії при народженні. Необхідні додаткові дослідження для глибшого розуміння впливу різних біохімічних компонентів пуповинної крові на функціональну здатність компонентів і їхній вплив на гіпоксичну захворюваність. Крім того, технологічний прогрес дозволяє покращити моніторинг у реальному часі, даючи можливість швидше й точніше оцінити біохімічний склад пуповинної крові. Впровадження портативних пристроїв може сприяти своєчасним втручанням і мати значний вплив на неонатальну захворюваність, пов'язану з гіпоксією. Розробка протоколів, які використовують ці новітні технології, має стати пріоритетом в акушерській практиці.

Висновки. Інтеграція цієї інформації в клінічні настанови має потенціал удосконалити процеси спостереження і покращити результати для новонароджених, що перебувають у групі ризику. Вивчення нейрорепродукторних механізмів, притаманних пуповинній крові, відкриває шлях до інноваційних терапій, які використовують ці біологічні ресурси повною мірою.

Ключові слова: пуповинна кров, новонароджений, гіпоксія, біомаркери, рання діагностика, неонатологія, біохімічний аналіз, клінічні протоколи, моніторинг у реальному часі, нейрорепродукція.

The role of umbilical cord blood research in the newborn

Ivano V.V.

Abstract. *Introduction.* Real-time assessment of umbilical cord blood parameters plays a crucial role in clinical decision-making. The unique biochemical profile and cellular composition of cord blood highlight its potential as both a diagnostic tool and a therapeutic modality.

The aim of the study. To analyze and evaluate the normal values and factors influencing the composition of umbilical cord blood in comparison with peripheral blood, and to assess ways to improve the interpretation of these indicators in order to enhance care for mothers and newborns.

Materials and methods. A literature review was conducted using both international and domestic scientific sources from the past ten years on the topic of cord blood composition in health and disease. The review was based on information retrieved from bibliographic databases: Web of Science, Scopus, PubMed, Springer, Acronym Finder, ACP Journal Club, and Medscape.

Results. As an element of early diagnostics, biomarker analysis opens new possibilities for targeted monitoring during and after birth, significantly transforming obstetric care. Current clinical protocols often lack systematic biochemical assessment of cord blood, resulting in missed opportunities for early intervention. Therefore,



there is an urgent need to incorporate such assessments into routine clinical practice. Literature suggests that defining specific biochemical thresholds can help physicians identify newborns in need of close monitoring or treatment, thereby reducing the risk of perinatal hypoxia. Further research is needed to better understand the functional implications of various biochemical components in cord blood and their role in hypoxia-related morbidity. Additionally, technological advancements enable real-time monitoring and facilitate faster, more accurate assessment of cord blood biochemistry. The implementation of portable devices could support timely interventions and significantly impact neonatal morbidity associated with hypoxia. Developing protocols that incorporate these modern technologies should become a priority in obstetric care.

Conclusions. Integrating this information into clinical guidelines has the potential to improve surveillance processes and outcomes for at-risk newborns. Investigating the neuroprotective properties of cord blood paves the way for innovative therapies that fully utilize these biological resources.

Key words: umbilical cord blood, newborn, hypoxia, biomarkers, early diagnostics, neonatology, biochemical analysis, clinical protocols, real-time monitoring, neuroprotection.

Вступ

Кров пуповини (тут і далі UCS – umbilical cord blood) привернула значну увагу медичних досліджень за останні десятиліття, головним чином через її унікальний біохімічний профіль і клітинний склад. Нові знання про UCS як багате джерело гемопоетичних стовбурових клітин (ГСК) і клітин-попередників підкреслюють її потенціал для різних терапевтичних застосувань, включно з трансплантацією та регенеративною медициною [1].

На відміну від периферичної венозної крові, яка переважно складається із зрілих гематологічних клітин, UCS характеризується значно більшою кількістю примітивних і плюрипотентних стовбурових клітин, що відкриває унікальні можливості для клінічного втручання.

Кров пуповини має характерний біохімічний профіль, що визначається унікальним складом факторів росту, цитокінів і різноманітних метаболітів, які суттєво впливають на фізіологію новонародженого та можуть виконувати захисні функції, запобігаючи різним перинатальним ускладненням. Унікальний імунологічний ландшафт UCS в основному визначається її клітинним складом, таким як гемопоетичні стовбурові клітини, клітини-попередники та імунні клітини, які істотно відрізняються від клітин периферичної венозної крові.

Порівняно з периферичною венозною кров'ю, кров пуповини має особливі біохімічні переваги, що можуть сприяти вищому регенеративному потенціалу та багатопотенційній диференціації. Ці відмінності охоплюють не лише рівні факторів росту та цитокінів, але й патологічні наслідки їх специфічних профілів, підкреслюючи важливість розуміння цих компонентів як у наукових дослідженнях, так і в клінічній практиці.

Наразі активно тривають дослідження щодо застосування крові пуповини (UCB) у клінічних протоколах, що має потенціал змінити неонатальну допомогу та вдосконалити терапевтичні підходи до лікування низки захворювань.

Клітинні компоненти крові пуповини суттєво відрізняються від компонентів периферичної венозної крові, маючи особливу гематологічну конфігурацію. UCS містить вищу концентрацію ГСК та клітин-попередників, які є критично важливими для утворення всіх ліній кровотворних клітин. Наприклад, дослідження показують, що в UCS міститься у три-п'ять разів більше ГСК, ніж у крові дорослих, що пов'язано з активною гемопоетичною діяльністю, необхідною для розвитку плода.

Високий рівень клітин-попередників у UCS не лише підвищує її ефективність у трансплантаційній медицині, а й свідчить про більший потенціал для трансплантації та багатолінійної диференціації, що робить цю кров надзвичайно цінним ресурсом для лікування гематологічних і спадкових захворювань.

Біохімічний профіль UCS виявляє високий рівень різних цитокінів, факторів росту та імуномодулюючих молекул, які визначають її унікальні терапевтичні властивості. Наприклад, у UCS підвищені рівні судинного ендотеліального фактора росту (VEGF), інтерлейкінів та фактора некрозу пухлин-альфа (TNF- α), які сприяють ангиогенезу, модулюють імунні відповіді та полегшують процеси відновлення тканин [2]. Ці специфічні біохімічні маркери не тільки відображають функціональний стан стовбурових клітин у UCS, а й надають інформацію про імунні властивості, які можуть суттєво відрізнитися від властивостей периферичної венозної крові.

Крім того, наявність в UCS спеціалізованих популяцій імунних клітин, таких як регуля-



торні Т-клітини (TREGS), має важливе значення для сумісності при трансплантації, зокрема завдяки зниженому ризику реакції «трансплантат проти господаря» (GVHD) при використанні клітин UCB у клінічній практиці. Унікальні імунологічні особливості UCB, включно з більш «наївним» імунним профілем, забезпечують більшу толерантність до алогенних клітин, що потенційно дозволяє знизити вимоги до відповідності донорів під час процедур трансплантації порівняно з периферичною кров'ю дорослих. Це може не лише спростити підбір донорів, але й розширити їхній пул, вирішуючи постійні виклики трансплантації гемопоетичних стовбурових клітин [3].

Відмінності у біохімічному профілі та клітинних компонентах крові пуповини порівняно з периферичною венозною кров'ю мають важливі клінічні наслідки. Унікальні властивості UCB підкреслюють її цінність як ресурсу для інноваційних терапевтичних стратегій у регенеративній медицині, лікуванні гематологічних злоякісних пухлин та імунних розладів. У міру того, як науковці продовжують досліджувати складні біохімічні характеристики та функціональні можливості клітин UCB, її потенціал для клінічного застосування стає дедалі очевиднішим, підкреслюючи важливу роль у розвитку сучасної терапії.

Завдяки глибшому розумінню цих відмінностей медична спільнота може краще використовувати властивості крові пуповини для розробки оптимізованих методів лікування, в кінцевому підсумку покращуючи результати лікування пацієнтів із широким спектром захворювань. Відмінності у біохімічному складі UCB порівняно з периферичною кров'ю мають глибокі наслідки, що обґрунтовує подальше дослідження та клінічну перевірку.

UCB містить велику кількість факторів росту, серед яких судинний ендотеліальний фактор росту (VEGF), фактор росту фібробластів (FGF) та інсуліноподібний фактор росту-1 (IGF-1). Ці фактори відіграють ключову роль у процесах ангиогенезу, проліферації клітин і відновлення тканин, що є критичним під час пренатального та постнатального періодів розвитку [3].

Зокрема, VEGF відзначається багатофункціональною роллю у стимуляції розвитку судинної системи немовлят, що є життєво важливим для забезпечення належного постачання кисню та поживних речовин одразу після народження.

Цитокіни, присутні у крові пуповини, також мають відмінний профіль порівняно з периферичною кров'ю, демонструючи особливості як про-, так і протизапальних медіаторів. Наприклад, інтерлейкіни (IL-6, IL-10) та фактор некрозу пухлин-альфа (TNF- α) беруть участь у розвитку імунних реакцій і регуляції запалення. Важливо, що рівень IL-10 – ключового протизапального цитокіну – у крові пуповини значно вищий, ніж у периферичній крові, що може свідчити про імунологічну «наївність» новонароджених і потенційно забезпечувати захист від надмірного запалення в ранньому віці [1,2,3].

Також варто зазначити, що кров пуповини багата на такі метаболіти, як гліцин та серин, які є необхідними для різних метаболічних процесів, включно із синтезом нейромедіаторів і детоксикаційними шляхами. Концентрація цих метаболітів може свідчити про метаболічний стан і харчові потреби новонародженого. Крім того, високий вміст біоактивних ліпідів та коротколанцюгових жирних кислот у UCB може впливати на модуляцію імунних реакцій, що потенційно позначається на стані здоров'я новонароджених [3].

Клінічні наслідки унікального біохімічного профілю крові пуповини є надзвичайно важливими, особливо щодо здоров'я новонароджених і профілактики захворювань. Дослідження свідчать, що велика кількість імуномодуючих факторів росту та цитокінів може відігравати вирішальну роль у запобіганні запальним захворюванням та сприяти швидкому відновленню після гіпоксично-ішемічних уражень у немовлят. Крім того, перспективи терапевтичного застосування UCB, зокрема у трансплантації стовбурових клітин і регенеративній медицині, підкреслюються її багатим вмістом клітин-попередників і сприятливим профілем цитокінів.

Клітинні компоненти крові пуповини (UCB) мають суттєві відмінності від периферичної венозної крові (PVB), зокрема щодо концентрації та різноманіття стовбурових і прогеніторних клітин. Пуповинна кров багата на гемопоетичні стовбурові клітини (HSC) і прогеніторні клітини, зокрема мезенхімальні стовбурові клітини (MSC) та ендотеліальні прогеніторні клітини (EPC), які мають важливе значення для різних терапевтичних застосувань [4].

Однією з ключових переваг UCB є вища концентрація HSC CD34+ порівняно з PVB. До-



слідження показали, що UCSB містить близько $1-10 \times 10^6$ CD34+ клітин на мілілітр, тоді як у PVB цей показник зазвичай становить менше ніж 1×10^6 на мілілітр [5].

Крім того, різноманіття типів стовбурових клітин у UCSB перевищує таке у PVB. Окрім гемопоетичних стовбурових клітин, UCSB є потужним джерелом негемопоетичних стовбурових клітин, таких як MSC, які мають імунomodуючі властивості та здатні диференціюватися у декілька напрямків, що відкриває перспективи для регенеративної медицини [4,5]. Наявність різних прогеніторних клітин робить UCSB привабливим ресурсом для протоколів трансплантації та клітинних терапій.

Ще однією важливою особливістю пуповинної крові є її унікальний профіль цитокінів і факторів росту, що сприяє розмноженню та диференціації стовбурових клітин. UCSB містить вищі концентрації різних цитокінів, включаючи інтерлейкін-6 (IL-6), інтерлейкін-10 (IL-10) та судинний ендотеліальний фактор росту (VEGF), які покращують виживаність та проліферацію HSC [6]. Таке цитокінове мікросередовище сприяє унікальним імунологічним властивостям UCSB, що знижує ризики розвитку реакції «трансплантат проти господаря» (GVHD), особливо важливої при дитячих трансплантаціях стовбурових клітин.

Мета дослідження

Проаналізувати та оцінити норми та причини зміни композиції пуповинної крові порівняно з периферичною кров'ю, оцінити шляхи покращення інтерпретації показників із метою покращення догляду для матерів і новонароджених.

Матеріали та методи

Проведено аналіз літературних джерел як зарубіжної, так і вітчизняної наукової літератури за останні десять років із тематики композиції пуповинної крові в нормі та при патології на основі інформаційного пошуку у бібліографічних базах даних: Web of Science, Scopus, PubMed, Springer, Acronym Finder, ACP Journal Club, Medscape.

Результати досліджень

Клінічні наслідки унікального складу клітин UCSB порівняно з PVB є значними. Зокрема, висока концентрація гемопоетичних і негемопоетичних стовбурових клітин дозволяє використовувати UCSB для лікування

гематологічних новоутворень, метаболічних порушень і деяких аутоімунних захворювань [4]. Це також має важливе значення для банків пуповинної крові, оскільки зберігати UCSB можна як доступне джерело для термінових трансплантацій, особливо у випадках браку відповідних донорів.

Дослідження наголошують, що UCSB розглядається як цінна альтернатива PB і кістковому мозку при трансплантаціях, особливо при лікуванні гематологічних новоутворень і генетичних розладів [7].

Регенеративна здатність HSC з UCSB також підсилюється завдяки нижчій імуногенності порівняно з PB. Завдяки походженню з незрілого імунного середовища плода, ці клітини рідше викликають реакцію «трансплантат проти господаря» (GVHD) [7].

Процес збору UCSB має додаткові клінічні переваги: він неінвазивний і безпечний як для немовляти, так і для матері, тоді як збір PB потребує мобілізації за допомогою фактора стимуляції колоній гранулоцитів (G-CSF), що може викликати побічні ефекти.

Екстрацелюлярні везикули (EV) привертають значну увагу завдяки ключовій ролі у міжклітинній комунікації та потенційним терапевтичним застосуванням. Встановлено, що пуповинна кров, багате джерело стовбурових клітин та інших біоактивних компонентів, продукує унікальні EV, які відрізняються як якісно, так і кількісно від EV, отриманих із периферичної венозної крові [8,9].

Склад електричних везикул (EVs) із пуповинної крові включає різноманітний набір мікроРНК (miRNA) і білків, які здатні стимулювати клітинні процеси, такі як диференціація, проліферація та імунomodуляція, що підкреслює їхню важливість у регенеративній медицині.

МікроРНК у EV із пуповинної крові відіграють значну роль у регуляції експресії генів і клітинних функцій. Дослідження показують, що ці мікроРНК можуть впливати на гемопоез, імунну відповідь та механізми відновлення тканин [8]. Зокрема, виявлені підвищені рівні деяких мікроРНК у EV із пуповинної крові порівняно з периферичною кров'ю, що вказує на їхні унікальні переваги у підвищенні клітинної стійкості та функціональності. Наприклад, MIR-21 та MIR-200, які часто виявляють у високих концентраціях у EV пуповинної крові, залучені в антиапоптотичні шляхи та відповіді на клітинний стрес, що покращує



виживаність і ефективність гемопоетичних стовбурових клітин (HSC) [9].

Ще одним важливим аспектом EV з пуповинної крові є їхні імунологічні властивості, які можуть бути використані для модулювання імунних відповідей у різних клінічних ситуаціях. Виявлено, що EV пуповинної крові можуть впливати на поляризацію імунних клітин, сприяючи більш антизапальному стану, що має особливу терапевтичну цінність при імунних розладах [9]. Ця імуносупресивна властивість частково зумовлена наявністю антизапальних цитокінів та імуnoreгуляторних мікроРНК.

Хоча дослідження ще тривають для з'ясування точних механізмів дії EV пуповинної крові, клінічні перспективи цих результатів можуть прокласти шлях для нових методів лікування, що використовують унікальні властивості пуповинної крові для покращення результатів лікування у різних патологічних станах.

Метаболічні компоненти пуповинної крові відкривають унікальні біохімічні особливості та їхнє значення для здоров'я новонароджених. Вчені підкреслюють важливість унікальних метаболічних профілів пуповинної крові, які відрізняються від периферійної венозної крові. Пуповинна кров, зібрана одразу після пологів, відображає унікальний метаболічний стан, що формується під впливом середовища та внутрішньоутробного розвитку [10].

Метаболічний аналіз виявив високі рівні певних амінокислот, лактату і різних ліпідів. Ці сполуки є ключовими для енергетичних процесів і біосинтезу клітинних макромолекул, необхідних для швидкого росту новонародженого. Наприклад, вищі концентрації вільних амінокислот, особливо амінокислот із розгалуженим ланцюгом, асоціюються з оптимальними траєкторіями росту новонароджених, що свідчить про можливість раннього виявлення ризику метаболічних порушень у майбутньому [10]. Плазма пуповинної крові також має унікальні профілі ліпідів, включаючи підвищені рівні певних фосfolіпідів та похідних холестерину, що важливі для формування та функціонування клітинних мембран. Це може мати значення для розуміння порушень обміну ліпідів у новонароджених та їхнього впливу на серцево-судинне здоров'я у подальшому житті.

Крім того, біохімічний склад пуповинної крові підкреслює її унікальну роль в імунитеті.

Ідентифіковано специфічні метаболічні підписи, пов'язані з імунними відповідями та запаленням, які дають уявлення про становлення імунітету в новонароджених. Високі рівні таких метаболітів, як кінуренін та триптофан, можуть вказувати на інше імунне середовище, що впливає на сприйнятливості до інфекцій у перинатальний період [10].

Аналіз метаболічних профілів також виявив зв'язок із перинатальними результатами, такими як передчасні пологи та низька маса тіла при народженні. Виявлення метаболічних порушень може стати основою для раннього виявлення ризиків несприятливих наслідків вагітності та новонародженості.

Пуповина слугує життєво важливим каналом між плацентою та плодом, забезпечуючи обмін киснем, поживними речовинами та продуктами обміну. Розуміння її біохімічного складу є важливим для оцінки стану плода під час пологів, особливо в контексті можливої гіпоксії. Численні дослідження підкреслюють важливість аналізу пуповинної крові для оцінки результатів здоров'я новонародженого. Властивості газообміну пуповини, що включають парціальний тиск газів, таких як кисень (PO_2) і вуглекислий газ (PCO_2), надають важливу інформацію про стан оксигенації плода безпосередньо перед або під час пологів. Відхилення цих параметрів газів можуть свідчити про гіпоксію плода, що потребує інтенсивного моніторингу та стратегій втручання [11].

Окрім газообміну, рівень рН пуповинної крові є фундаментальним для оцінки ацидозу плода, який часто супроводжує умови тривалого кисневого голодування. Знижений рН пов'язаний із метаболічним та респіраторним ацидозом, сигналізуючи про дистрес і потенційне неврологічне ураження новонародженого [11]. Встановлення порогових значень рН, за яких потрібна додаткова оцінка чи втручання, є важливим для ухвалення обґрунтованих клінічних рішень у перинатальний період. Наприклад, рівень рН нижче 7.00 може вимагати негайних реанімаційних заходів або госпіталізації до відділення інтенсивної терапії новонароджених (NICU), тоді як значення, наближені до норми, дозволяють провести ретельний моніторинг без агресивних втручань.

Таким чином, медичні працівники дедалі частіше орієнтуються на біохімічні маркери, щоб визначити необхідність інтенсивного



спостереження за новонародженими з ризиком гіпоксії. Інтеграція передових аналітичних методик ще більше покращила нашу здатність інтерпретувати біохімічний склад пуповинної крові. Ці досягнення підтримують думку, що рутинна оцінка пуповинної крові може надати більш повну картину стану плода, ніж лише традиційні показники, таким чином інформуючи клінічні підходи, які ставлять на перше місце добробут новонародженого [12].

У підсумку біохімічний склад пуповини є невід'ємною частиною моніторингу добробуту плода під час пологів. Він охоплює критичні елементи, такі як газообмін, рівні рН та біомаркерів, які разом інформують клінічну оцінку ризику гіпоксії. Цей зв'язок підкреслює важливість систематичної оцінки та зумовлює клінічне спостереження, відображаючи перехід до більш глибокого розуміння стану плода під час інтранатального періоду.

Аналіз газів пуповинної крові є критичним діагностичним інструментом для оцінки добробуту плода, особливо в контексті гіпоксії під час пологів. Аналіз зазвичай охоплює ключові параметри, включаючи рН, парціальний тиск кисню (PO_2) та парціальний тиск вуглекислого газу (PCO_2), які разом надають глибоку інформацію про метаболічний стан плода. Значний обсяг досліджень підкреслює важливість цих біохімічних маркерів, оскільки вони можуть відображати гострі фізіологічні зміни, що можуть вимагати негайного втручання.

Нормальні референтні значення газів пуповинної крові є життєво важливими для виявлення відхилень, які можуть свідчити про порушену оксигенацію плода. Як правило, нормальні значення рН артеріальної крові варіюють від 7,20 до 7,40, рівні PO_2 зазвичай очікуються в межах 16–25 мм рт. ст., а значення PCO_2 – приблизно 40–60 мм рт. ст. [12]. Рівень рН нижче 7,20 зазвичай пов'язують з ацидозом, що відображає потенційний метаболічний або респіраторний дистрес. Такий ацидоз може виникати через низку чинників, включаючи недостатність матково-плацентарного кровотоку або стиснення пуповини, що обмежують надходження кисню до плода під час пологів.

Аномальні показники газів крові пуповини можуть слугувати індикаторами гіпоксичних станів, що виправдовує посилене спостереження та втручання. Високий рівень

лактату, який часто вимірюється одночасно, також може свідчити про значний анаеробний метаболізм внаслідок гіпоксії та вказувати на критичний стан, який потребує швидкої клінічної реакції.

Існує добре задокументований зв'язок між показниками газів крові пуповини та несприятливими наслідками, зокрема неонатальною енцефалопатією. Дослідження демонструють, що новонароджені зі зниженими рівнями рН у пуповинній артерії мають вищий ризик неврологічних порушень і довгострокової смертності [13]. Відтак розробка протоколів для негайної оцінки та інтерпретації результатів аналізу газів крові пуповини відіграє важливу роль у формуванні стратегій ведення для мінімізації наслідків гіпоксії.

Результати аналізу газів крові пуповини мають значення не лише для окремих випадків, а й відіграють критичну роль у формуванні ширших клінічних настанов і протоколів. Вони підкреслюють необхідність пильного моніторингу під час пологів, особливо в групах ризику, де гіпоксія плода може призвести до тяжких ускладнень. Удосконалення стратегій ведення, що базуються на інтерпретації цих аналізів, зрештою сприятиме покращенню неонатальних результатів і підвищенню стандартів акушерської допомоги. Дослідження біохімічного складу пуповинної крові дедалі частіше визначають специфічні біомаркери як критично важливі індикатори неонатальних результатів, особливо в контексті гіпоксії під час пологів. Один із найбільш вивчених біомаркерів – це лактат, який відображає метаболічний стан плода в умовах інтрапартального стресу. Високі рівні лактату у пуповинній крові були пов'язані з несприятливими неврологічними наслідками, включаючи ДЦП та інші порушення нейророзвитку [14]. Цей зв'язок ґрунтується на тому, що підвищене вироблення лактату є ознакою анаеробного метаболізму через недостатнє надходження кисню.

Крім того, було досліджено роль запальних маркерів, таких як інтерлейкін-6 (IL-6) та С-реактивний білок (CRP), у крові пуповини щодо їхнього зв'язку з гіпоксично-ішемічними ушкодженнями. Підвищені рівні цих маркерів свідчать про запальну відповідь, яка може бути вторинною до страждання плода в умовах гіпоксії [15]. Виявлення цих медіаторів допомагає не лише зрозуміти патофізіологію ушкоджень, пов'язаних із гіпоксією, а



й слугує потенційною основою для розробки терапевтичних підходів.

Останні досягнення в дослідженні біомаркерів також зосереджуються на метаболічних побічних продуктах, зокрема нейромедіаторах, таких як глутамат. Високі концентрації глутамату були пов'язані з ексайтотоксичним ушкодженням мозку плода в умовах гіпоксії. Це підкріплює уявлення, що мультифакторний підхід із вивченням кількох біохімічних маркерів надає ширшу картину ризиків, пов'язаних із гіпоксичними подіями під час пологів.

Інтеграція цих біомаркерів у клінічну практику може покращити процеси скринінгу новонароджених із ризиком та спрямувати післяпологову допомогу. У міру розвитку досліджень здатність пов'язати склад пуповинної крові з ризиком гіпоксії та подальшими нейророзвитковими наслідками стане ключовою для встановлення протоколів інтенсивного спостереження та раннього втручання для новонароджених групи високого ризику. Це підкреслює важливість досліджень, спрямованих на вивчення складної взаємодії компонентів пуповинної крові у контексті коротко- та довготривалих результатів для здоров'я новонароджених [15].

Біохімічний склад крові пуповини, зокрема рівні рН та лактату, привертає дедалі більшу увагу як потенційні предиктори гіпоксичних станів під час пологів. Рівень рН у пуповинній крові є ключовим маркером для оцінки ацидозу, а отже – і ризику гіпоксії, особливо у контексті гіпоксично-ішемічної енцефалопатії (ГІЕ). У літературі підкреслюється значущий зв'язок між низьким рН та частотою виникнення ГІЕ. Наприклад, дослідження показало, що знижений рівень рН пов'язаний із підвищеним ризиком нейрональних ушкоджень, що підкреслює потребу в своєчасному втручанні у немовлят із групи ризику. Ці дані підкреслюють клінічну значущість рутинного аналізу пуповинної крові як додаткового діагностичного інструмента під час пологів [16].

Моніторинг концентрації лактату у пуповинній крові також визнано критично важливим параметром для оцінки стану плода. Високий рівень лактату в поєднанні з низьким рН може свідчити про глибокі метаболічні порушення, спричинені недостатнім надходженням кисню, тим самим підтверджуючи ризик гіпоксії. Дослідження показують, що поріг у 4 ммоль/л лактату асоціюється зі значущими

несприятливими наслідками, включаючи порушення нейророзвитку. Ці кореляції вимагають ретельного підходу до моніторингу рН і рівнів лактату пуповинної крові одразу після пологів, оскільки вони надають цінну біологічну інформацію про страждання плода.

У випадках виявлення аномального рівня рН або високої концентрації лактату медичні працівники можуть розпочати цілеспрямовані втручання, спрямовані на зменшення ускладнень, пов'язаних із гіпоксією. Наприклад, у разі підозри на асфіксію можна негайно провести реанімаційні заходи на основі біохімічних результатів пуповинної крові, що потенційно покращує неонатальні наслідки. Такі втручання можуть включати контрольовану вентиляцію та гемодинамічну підтримку, які є фундаментальними у лікуванні наслідків гіпоксії в гострому періоді.

Крім того, інтеграція даних біохімічного аналізу пуповинної крові в існуючі протоколи фетального моніторингу може покращити акушерське ведення пологів. Науковці вважають, що біохімічне профілювання разом із традиційними методами, такими як моніторинг серцебиття плода, дозволяє отримати більш повне уявлення про стан плода під час пологів. Такий інтегрований підхід забезпечує своєчасну реакцію на ознаки фетального дистресу, зосереджуючи увагу на високоризикових ситуаціях, що потребують інтенсивного спостереження.

Окрім клінічного значення моніторингу рН і лактату, важливо враховувати можливі труднощі та обмеження у тлумаченні цих біохімічних маркерів. Індивідуальна варіабельність реакції на гіпоксію, а також вплив сторонніх чинників – таких як стан здоров'я матері, гестаційний вік і спосіб розродження – можуть ускладнювати встановлення стандартизованих порогів для клінічного втручання. Тому, хоча біохімічний аналіз пуповинної крові відкриває нові перспективи, необхідні подальші дослідження для створення чітких клінічних рекомендацій [15,16].

Поточний прогрес у технологіях експрес-тестування свідчить про майбутнє, у якому аналіз рН і лактату пуповинної крові в режимі реального часу стане рутинною практикою в пологових відділеннях, покращуючи виявлення ризику гіпоксії протягом усього процесу пологів. Зосереджуючись на моніторингу біохімічного складу пуповинної крові, акушерки зможуть краще надавати своєчасну й ефек-



тивну допомогу як матері, так і немовляті, зменшуючи ризики довготривалих наслідків, пов'язаних із гіпоксично-ішемічними подіями.

Роль метаболічних «підписів» пуповинної крові викликає значний інтерес у контексті виявлення новонароджених, що зазнали гіпоксичного впливу під час пологів. Дослідження показують, що ці метаболічні профілі надають важливу інформацію про фізіологічні порушення, які можуть виникнути в новонароджених із порушеним забезпеченням киснем. Наприклад, вивчали метаболічні зміни в зразках пуповинної крові та виявили, що певні біохімічні маркери, такі як високий рівень лактату та змінений фосфоліпідний обмін, свідчать про гіпоксичний вплив. Це дослідження підкреслює потенціал метаболічного профілювання як персоналізованого діагностичного інструменту, який може керувати клінічними стратегіями та забезпечувати своєчасні втручання для новонароджених із ризиком [17].

Вчені далі уточнили зв'язок між метаболічними маркерами пуповинної крові та неонатальними наслідками, особливо в контексті інтранатальної гіпоксії. Вони застосували сучасні аналітичні методи, зокрема мас-спектрометрію, щоб деталізувати метаболічні шляхи, порушені через гіпоксичний стрес. Виявивши ці шляхи, автори припустили, що лікарі зможуть встановлювати точніші протоколи спостереження для новонароджених із відповідними метаболічними профілями. Усвідомлення того, що певні метаболічні порушення корелюють із несприятливими неонатальними наслідками, вимагає перегляду існуючих протоколів спостереження та посилення моніторингу немовлят із визначеними особливостями пуповинної крові [18].

Крім того, з'являються докази, що материнські чинники, такі як гестаційний діабет і преєклампсія, можуть підвищувати ймовірність аномальних метаболічних профілів у пуповинній крові [19]. Цей зв'язок підкреслює важливість комплексної оцінки стану матері при формуванні підходів до виявлення новонароджених із ризиком. Виявлення метаболічних маркерів, що свідчать про плацентарну недостатність або внутрішньоутробну затримку росту, як наслідок материнських станів, може забезпечити негайну клінічну реакцію. Таким чином, метаболічне профілювання може мати подвійне призначення – як інструмент оцінки здоров'я матері й плода,

так і засіб для формування неонатальних стратегій допомоги.

У цьому контексті значення метаболічних профілів виходить за межі діагностики – вони забезпечують складну систему стратифікації ризику, дозволяючи визначити, коли інтенсивне спостереження є обґрунтованим. Лікарі можуть використовувати ці дані для адаптації післяпологового догляду відповідно до індивідуального рівня гіпоксичного ризику. Дослідження показують, що при перевищенні певних порогів лактату та інших метаболітів негайне та інтенсивне спостереження може суттєво покращити результати неонатальної допомоги [17]. Такі стратегічні підходи підтримують не лише персоналізовану медичну допомогу, а й оптимізацію використання ресурсів у клінічних умовах.

Також ідентифікація специфічних біомаркерів, пов'язаних із гіпоксичним стресом, може сприяти розробці стандартизованих протоколів спостереження в різних медичних закладах. Майбутні дослідження можуть зосередитися на встановленні надійного зв'язку між конкретними метаболічними профілями та їх прогностичною цінністю для несприятливих результатів, що підсилює клінічну значущість аналізу пуповинної крові. Інтегруючи результати метаболічних досліджень у настанови щодо інтенсивного спостереження в перші дні життя, медичні працівники можуть гарантувати, що новонароджені з високим ризиком отримують необхідну допомогу негайно, що потенційно зменшить довготривалі наслідки неонатальної гіпоксії [18].

Обмеження внутрішньоутробного росту (FGR) є важливою проблемою в акушерській практиці, оскільки асоціюється з численними несприятливими перинатальними наслідками, зокрема підвищеним ризиком гіпоксії під час пологів [20]. Біохімічний склад пуповинної крові став ключовим індикатором для оцінки стану плода, особливо при FGR. Зміни в біомаркерах, таких як лактат, рівень рН і метаболічні субстрати, можуть надати уявлення про рівень оксигенації плода та ефективність функції плаценти.

Епігенетика пуповинної крові: вивчення моделей метилювання ДНК у пуповинній крові є новим напрямком для розуміння здоров'я та захворювань новонароджених. Метилювання ДНК – ключова епігенетична модифікація – впливає на експресію генів і значною мірою визначає результати розвитку [19].



Надалі науковці поглибили це розуміння, дослідивши взаємодію між метилюванням ДНК і чинниками навколишнього середовища, що впливають на здоров'я новонароджених. Вони встановили, що такі материнські фактори, як куріння та харчування під час вагітності, істотно впливають на стан метилювання у крові пуповини. Ці асоціації демонструють потенціал використання епігенетики пуповинної крові для моніторингу та зменшення ризиків несприятливих неонатальних наслідків. Особливо важливо, що зміни метилювання потенційно є зворотними та можуть бути об'єктом цілеспрямованих інтервенцій, що відкриває шлях до персоналізованих профілактичних стратегій [20,21].

Крім того, ці результати мають значення для розробки терапевтичних інтервенцій. Можливість ідентифікувати специфічні моделі метилювання, пов'язані з несприятливими неонатальними станами, може сприяти розробці стратегій раннього втручання для груп ризику. Наприклад, якщо певні сигнатури метилювання виявляються предикторами розвитку таких захворювань, як астма або діабет, медичні працівники можуть заздалегідь впроваджувати зміни у способі життя та навколишньому середовищі на ранніх етапах життя дитини для мінімізації ризиків.

Клінічне значення метилювання ДНК у крові пуповини виходить за межі безпосередніх неонатальних станів. Дослідження свідчать, що зміни епігенетичного ландшафту можуть також впливати на довгострокові траєкторії здоров'я. Наприклад, виявлено зв'язок між змінами метилювання ДНК у пуповинній крові та подальшим розвитком психологічних і поведінкових розладів. Виявлення таких моделей може сприяти ранній діагностиці та втручанню, що в перспективі дозволить ефективно трансформувати клінічну практику та покращити результати для здоров'я.

Таким чином, аналіз унікальних схем метилювання ДНК у пуповинній крові не лише поглиблює розуміння неонатального здоров'я, але й просуває дискурс навколо персоналізованої медицини. Із продовженням досліджень цих епігенетичних змін та їх клінічних наслідків перспектива використання пуповинної крові як біоматеріалу для профілактичних стратегій здоров'я стає дедалі реальнішою. Завдяки подальшим дослідженням може стати можливим інтегру-

вання цієї інформації у рутинну клінічну практику з метою підтримки здоров'я майбутніх поколінь [5].

Профіль запалення у крові пуповини (UCB) відрізняється від такого у периферичній венозній крові (PVB), що має значні наслідки для розуміння розвитку імунної системи новонароджених. Порівняльний аналіз рівнів цитокінів у UCB та PVB виявляє унікальні особливості, важливі для неонатальної імунології. Дослідження надали важливу інформацію про диференційовану експресію про- та протизапальних цитокінів у цих двох типах крові, сприяючи роз'ясненню процесу імунного дозрівання [5,22]. UCB, що походить із плацентарного кровотоку, має специфічний профіль із нижчими рівнями прозапальних цитокінів, таких як інтерлейкін-6 (IL-6) та фактор некрозу пухлини-альфа (TNF- α), порівняно з PVB. Таке зниження прозапальних цитокінів відіграє важливу роль у захисті плода від надмірних запальних відповідей у перинатальний період. Високі рівні проти-запальних цитокінів у UCB, зокрема інтерлейкіну-10 (IL-10), формують унікальне імунне середовище, яке сприяє розвитку імунної толерантності, критично важливої для становлення неонатальної імунної системи [5].

Крім того, диференційована експресія цитокінів у UCB може відображати наявність специфічних імунних клітин, таких як регуляторні Т-клітини та мієлоїдні супресорні клітини, які часто підвищені у новонароджених і відомі своєю здатністю модулювати імунні відповіді. Науковці підкреслюють, що ці клітинні компоненти корелюють із зміненним цитокіновим профілем, що свідчить про вроджену схильність до протизапальних відповідей у критичний період переходу від внутрішньоутробного до позаутробного життя. Це особливо актуально з огляду на ризик розвитку запальних захворювань, таких як неонатальний сепсис, який може виникати внаслідок невідповідної імунної відповіді [22].

Результати обох досліджень свідчать, що запальний профіль UCB, зі своєю унікальною рівновагою цитокінів, слугує не лише механізмом захисту, а й потенційним чинником для імунного перепрограмування на ранніх етапах життя. Знижена концентрація запальних медіаторів може обмежувати ризик гіперчутливих реакцій та сприяти розвитку збалансованих імунних відповідей. Розуміння цих динамік є важливим, оскільки



вони можуть мати довготривалі наслідки для ведення новонароджених, особливо в умовах, де часто виникають ранні інфекційні або запальні виклики.

Дослідження профілів цитокінів у UCSB надають глибоке розуміння того, як неонатальна імунна система регулюється на початкових етапах розвитку. Наприклад, новонароджені, які мають знижені рівні IL-6 у пуповинній крові порівняно зі старшими дітьми або дорослими, можуть мати знижений ризик розвитку різних запальних станів. Це має важливі наслідки для розробки терапевтичних інтервенцій, спрямованих на зміцнення неонатального імунітету без надмірної стимуляції запальних шляхів [21,22].

Зрештою, характерні особливості запальної відповіді у UCSB порівняно з PVB підкреслюють необхідність подальших досліджень для розуміння, як ці відмінності формують розвиток та імунні реакції новонароджених. Майбутні дослідження можуть зосередитися на використанні цього унікального біохімічного профілю для вдосконалення клінічних практик, що стосуються профілактики інфекцій, вакцинаційних стратегій та ведення імунних захворювань у новонароджених.

Клінічні застосування пуповинної крові у регенеративній медицині привернули значну увагу останніми роками завдяки її унікальному біохімічному профілю та клітинним компонентам. Пуповинна кров, зібрана з пуповини та плаценти після пологів, є багатим джерелом гемопоетичних стовбурових клітин (HSC), мезенхімальних стовбурових клітин (MSC) та різноманітних факторів росту, що відрізняє її від периферичної венозної крові. Потенціал пуповинної крові в лікуванні низки гематологічних та імунологічних захворювань добре встановлений, особливо в контексті трансплантації гемопоетичних стовбурових клітин для таких станів, як лейкемія, лімфома та інші порушення кровотворення [7].

Регенеративна здатність пуповинної крові головним чином зумовлена високим вмістом HSC, які демонструють більший потенціал приживлення порівняно зі стовбуровими клітинами периферичної крові. Це частково пояснюється відносно наївним імунофенотипом клітин пуповинної крові, що сприяє нижчій частоті розвитку реакції «трансплантат проти господаря» (GVHD) після трансплантації [6]. Імунологічні відмінності

між пуповинною та дорослою периферичною кров'ю є суттєвими: пуповинна кров містить високі рівні регуляторних Т-клітин і різноманітних цитокінів, які можуть модулювати імунні відповіді сприятливо, полегшуючи приживлення та знижуючи ризик відторгнення.

Окрім добре встановленої ролі у гематопоетичній реконституції, пуповинна кров демонструє перспективність у лікуванні негематологічних захворювань. Наявність MSC у пуповинній крові особливо заслуговує на увагу, оскільки ці клітини здатні диференціюватися в різні типи клітин і секретувати протизапальні та імуномодуючі фактори. Дослідження показали, що MSC пуповинної крові можуть бути корисними у лікуванні таких станів, як недосконалий остеогенез, дитячий церебральний параліч та пошкодження спинного мозку [5]. Їх здатність мігрувати до місць ушкодження та сприяти регенерації тканин підкреслює потенціал розширення терапевтичних застосувань пуповинної крові у регенеративній медицині.

Поточні дослідницькі зусилля зосереджені на оптимізації процесу забору та зберігання пуповинної крові для покращення її клінічного використання. Створення банків пуповинної крові стало невід'ємною частиною систем охорони здоров'я в багатьох країнах, забезпечуючи резерв стовбурових клітин, які можуть бути використані для аутологічних або алогенних трансплантацій [6].

Крім того, виявлено, що біоактивні сполуки пуповинної крові, зокрема цитокіни та фактори росту, мають протизапальні та ангіогенні властивості, що додає ще один рівень до її терапевтичного потенціалу. Цей біохімічний профіль підтримує використання продуктів, отриманих із пуповинної крові, у різних клінічних контекстах, включаючи тканінну інженерію та регенеративну терапію, спрямовану на загоєння ран і лікування хронічних захворювань [5].

Інтеграція цих біомаркерів у клінічні алгоритми може підвищити точність прогнозування при гіпоксично-ішемічних станах і допомогти оптимізувати результати для новонароджених при народженні. Такі досягнення свідчать про суттєву зміну у підходах до перинатальної допомоги, акцентуючи увагу на необхідності багатокомпонентної оцінки біохімічного профілю поряд із традиційним клінічним обстеженням.



Загалом зростаюче розуміння унікальних характеристик пуповинної крові порівняно з периферичною венозною кров'ю підкреслює її важливість у регенеративній медицині. У міру розвитку досліджень клінічні наслідки використання пуповинної крові для регенеративної терапії, ймовірно, розширюватимуться, роблячи її центром інновацій у лікуванні широкого спектра медичних станів. Пуповинна кров (UCB) має унікальний біохімічний профіль і клітинний склад порівняно з периферичною венозною кров'ю (PVB), що суттєво інформує про її клінічні та потенційні застосування в регенеративній медицині та трансплантації. UCB особливо багата на гемопоетичні стовбурові клітини (HSC), імунні клітини та низку цитокінів, що робить її цінним ресурсом для терапевтичних втручань, особливо в контексті гематологічних розладів [15].

Дослідження показали, що UCB є не лише джерелом HSC, а й містить більшу частку наївних Т-клітин і регуляторних Т-клітин, які забезпечують вищу імунну толерантність і знижують ризик розвитку реакції «трансплантат проти господаря» (GVHD) при використанні UCB для трансплантації [23].

Біохімічне середовище UCB суттєво відрізняється від PVB. Встановлено, що в UCB підвищений рівень певних факторів росту, зокрема інсуліноподібного фактора росту (IGF), судинного ендотеліального фактора росту (VEGF) та фібробластного фактора росту (FGF), а також вищі концентрації антиоксидантів-медіаторів, таких як інтерлейкін-10 та трансформуючий фактор росту-бета (TGF- β) [15]. Ці унікальні характеристики свідчать про те, що UCB може мати переваги в терапевтичних контекстах, де критично важливими є модуляція запалення та стимуляція регенерації тканин.

Порівняльні аналізи також показують, що ліпідний профіль і метаболічні субстрати в UCB відрізняються від тих, що виявляються в PVB. Наприклад, у UCB зазвичай нижчий рівень холестерину та тригліцеридів, а також виявляються інші метаболічні шляхи, пов'язані з енергетичним метаболізмом [23]. Ця варіація може відображати унікальну фізіологічну роль UCB під час внутрішньоутробного розвитку, яка може впливати на метаболічні реакції, що виявляються в клінічних застосуваннях.

Крім того, профіль імунних клітин у UCB, що характеризується переважанням природ-

них кілерів, моноцитів і клітин (NK) разом із різноманітним набором незрілих дендритних клітин, різко контрастує з профілем PVB, яка збагачена зрілими популяціями імунних клітин [15]. Природні імунологічні властивості UCB відкривають шляхи для розробки інноваційних стратегій у трансплантаційній імунології, лікуванні аутоімунних захворювань і клітинних терапіях [21,22].

Попри очевидний потенціал UCB, залишаються виклики для її ширшого клінічного застосування, зокрема щодо зберігання та доступності. Інтеграція UCB у клінічну практику вимагає глибокого розуміння її складних біохімічних характеристик і клітинної динаміки. Постійні дослідження є життєво важливими для повного використання терапевтичного потенціалу UCB і визначення її ефективності порівняно з PVB у межах сучасної медицини [23]. У майбутньому акцент на досягненнях у технологіях біобанкування, дизайні клінічних випробувань і таргетних терапіях буде вирішальним для максимального використання переваг, пов'язаних із пуповинною кров'ю.

Метаболічно стресований плід із більшою ймовірністю матиме підвищений рівень лактату, що відображає анаеробний метаболізм внаслідок недостатнього надходження кисню. Водночас рівень рН у крові пуповини є важливим показником оксигенації; зниження рН пов'язане з підвищенням рівня вуглекислого газу та метаболічним ацидозом, що свідчить про гіпоксичний стан.

Оцінка біохімічних маркерів крові пуповини у поєднанні з результатами ультразвукового дослідження забезпечує більш комплексний підхід до ведення вагітностей, ускладнених ЗВУР. УЗД залишається основним методом виявлення затримки росту, а біохімічний аналіз може надати додаткову інформацію про фізіологічний стан плода. Поєднання цих методів дозволяє точніше оцінити ризик гіпоксії та підтримати клінічні рішення щодо часу і способу розродження [20].

Отже, взаємозв'язок між затримкою внутрішньоутробного розвитку плода та біохімічним складом пуповинної крові не лише має клінічне значення для моніторингу перебігу вагітності, а й підкреслює необхідність багатокомпонентного підходу до перинатального менеджменту. Наразі дослідження продовжують розкривати складність ЗВУР, і все більша увага приділяється поєднанню біохімічного аналізу з традиційними методами



нагляду з метою оптимізації результатів для плода у вагітностях високого ризику.

Останні дослідження вказують на нейропротекторні властивості мезенхімальних стовбурових клітин (МСК), отриманих із пуповинної крові, що свідчить про потенційний зсув парадигми у підході до ризику гіпоксії під час пологів. Унікальний біохімічний склад тканини пуповини, зокрема високий вміст МСК, має ключові властивості, які можуть сприяти нейропротекції, особливо у випадках перинатального гіпоксично-ішемічного ураження. Імуномодулюючі ефекти та регенеративні здібності цих стовбурових клітин можуть значно зменшити неврологічні ушкодження, спричинені гіпоксією у новонароджених [24].

Дослідження взаємозв'язку між біохімічними профілями пуповини та їхнім нейропротекторним потенціалом спонукали науковців до впровадження протоколів ретельного спостереження, що враховують біомаркери, пов'язані з життєздатністю та функцією МСК. Високий рівень певних факторів росту у пуповинній крові був обернено корельований із несприятливими неврологічними наслідками, що свідчить про те, що біохімічний склад може бути прогностичним біомаркером ускладнень, пов'язаних із гіпоксією [25].

Наслідки цих результатів виходять за межі пасивного спостереження: вони дозволяють лікарям запроваджувати проактивні підходи до догляду за новонародженими на основі біохімічної оцінки в реальному часі.

Надзвичайно важливо враховувати час і контекст, у якому можна реалізувати терапевтичний потенціал МСК із пуповини. Критичне вікно для втручання залежить від раннього виявлення гіпоксичних подій, що створює потребу у стандартизованих протоколах для забезпечення швидкого забору й аналізу пуповини. Рациональне використання клітинної терапії може допомогти уникнути негайних наслідків гіпоксії та покращити довгострокові нейророзвиткові результати у новонароджених.

Нещодавні дані також вказують на важливість міжіндивідуальної варіабельності складу пуповинної крові, що викликає потребу у визначенні нормативних біохімічних діапазонів. Відмінності у концентрації та властивостях МСК між різними популяціями можуть вимагати розробки індивідуалізованих стратегій нагляду, які враховують специфічні ма-

теринські та фетальні фактори ризику. Такий підхід може підвищити точність прогнозування ризику гіпоксії, покращуючи клінічне прийняття рішень під час пологів.

Необхідні додаткові дослідження для глибшого розуміння впливу різних біохімічних компонентів пуповинної крові на функціональну здатність МСК і їхній вплив на гіпоксичну захворюваність. Інтеграція цієї інформації в клінічні настанови має потенціал удосконалити процеси спостереження і покращити результати для новонароджених, що перебувають у групі ризику. Вивчення нейропротекторних механізмів, притаманних пуповинній крові, відкриває шлях до інноваційних терапій, які використовують ці біологічні ресурси повною мірою [24,25].

У літературі зазначається, що нинішні клінічні протоколи не повністю використовують інформацію, яку може надати аналіз пуповинної крові. Наприклад, традиційна орієнтація на шкалу Апгар та базову оцінку частоти серцебиття плода часто не дозволяє виявити більш тонкі випадки гіпоксії. Включення біохімічного аналізу може не лише підвищити точність діагностики гіпоксії, але й стимулювати перехід до більш проактивних стратегій лікування. Це також викликає етичні питання, зокрема щодо поінформованої згоди та обґрунтованості використання розширених біохімічних профілів у новонароджених. Батьки повинні бути повністю поінформовані про наслідки таких досліджень, включаючи можливі знахідки, що можуть вимагати втручання [26].

У світлі цих подій заклади охорони здоров'я можуть потребувати перегляду своїх клінічних протоколів із урахуванням розширених аналізів пуповинної крові. Це включає шляхи перетворення біомаркерів на чіткі клінічні рішення. Оновлені протоколи мають передбачати участь мультидисциплінарних команд для аналізу біохімії пуповини поряд з існуючими методами моніторингу, створюючи синергетичний підхід до зниження ризику гіпоксії. Водночас постає етичне питання щодо справедливого доступу до таких тестів і втручання – критично важливо, аби нові протоколи не поглиблювали нерівність у медичному обслуговуванні [27].

Крім того, надмірна інтерпретація біохімічних результатів потребує обережності. Хибна інтерпретація може призвести до невинуватих втручання або викликати тривожність у батьків щодо потенційних проблем,



які клінічно не проявляться. Тому протоколи повинні включати якісне навчання лікарів щодо тлумачення біохімічних даних, а також чіткі інструкції щодо порогів для посиленого спостереження [15].

Зрештою, зміни у клінічних протоколах, що враховують дані аналізу пуповинної крові, повинні відповідати етичним нормам – автономії пацієнта, поінформованій згоді та рівному доступу до медичної допомоги. У міру розвитку цієї галузі необхідний постійний діалог між науковцями, лікарями та етиками для забезпечення того, щоб користь від нових біомаркерів справді покращувала захист матерів і немовлят у реальних умовах.

Значення біохімічного складу пуповини для оцінки ризику гіпоксії під час пологів важко переоцінити. Як показує сучасна література, аналіз крові та тканин пуповини дає важливу інформацію про метаболічний стан плода та його загальне самопочуття під час народження. Кілька біомаркерів, зокрема лактат, рівень рН та різні електроліти, були ідентифіковані як показники дистресу плода і потенційної гіпоксії. Дослідження вказують на зв'язок між високим рівнем лактату та порушеним кисневим забезпеченням, що свідчить про те, що підвищений лактат у пуповинній крові є достовірним маркером ризику небажаних наслідків [28]. Це підтверджується і даними Lear та ін. (2020), які зазначають, що комплексні аналізи пуповинної крові можуть дати критичну інформацію для своєчасного медичного втручання [29]. При перинатальній асфіксії аналіз газів крові артеріальних зразків пуповини характеризується глибокою метаболічною ацидемією з підвищеною концентрацією лактату. Однак вироблення лактату може бути індуковано негіпоксичними станами, такими як глікогеноліз, алкалоз або

інфузія катехоламінів. Тому надійність аналізу газів пуповинної крові має обмежене значення для прогнозування гіпоксії новонароджених (ГІЕ) [30].

Висновки

Інтеграція цієї інформації в клінічні настанови має потенціал удосконалити процеси спостереження і покращити результати для новонароджених, що перебувають у групі ризику.

Вивчення нейропротекторних механізмів, притаманних пуповинній крові, відкриває шлях до інноваційних терапій, які використовують ці біологічні ресурси повною мірою.

Подальші дослідження повинні зосереджуватись на довгострокових спостереженнях, які аналізують зв'язок між окремими біомаркерами та результатами розвитку новонароджених. Виявлення та підтвердження нових маркерів гіпоксії дозволить уточнити прогностичні моделі та розробити індивідуальні терапевтичні стратегії.

Важливо також дослідити взаємозв'язок між здоров'ям матері, факторами довкілля та біохімічним складом пуповини для кращого розуміння складної природи фетального дистресу.

Критична важливість біохімічного складу пуповини в управлінні ризиком гіпоксії під час пологів підтверджується сучасними даними. Комплексний аналіз біомаркерів і моніторинг у реальному часі – це ключові інструменти для покращення неонатальних результатів і запровадження відповідної допомоги. Подальші дослідження у цій сфері є необхідними, оскільки вони здатні змінити клінічну практику та гарантувати оптимальний догляд для матерів і новонароджених у контексті гіпоксії під час пологів.

REFERENCES

1. Gruccio S, Di Carlo MB, Pandolfo M, Santa Cruz G, Touzon MS, Negri G, Giuliano R, Vega HR, Blanco MV, Perazzi BE. Biochemical profiling study in umbilical cord blood as predictors of neonatal damage. *International Journal of Clinical Pediatrics*. 2014 Apr 11;3(1):5-11.
2. Kang J, Lee CN, Li HY, Hsu KH, Lin SY. Genome-wide DNA methylation variation in maternal and cord blood of gestational diabetes population. *Diabetes research and clinical practice*. 2017 Oct 1;132:127-36.
3. Ysaswini Yaikuntam, M Vasanthan, Gayathri Priyadharshini Balamurali, Vinodhini VM. Comparison of Biochemical Parameters in Cord Blood versus Venous Blood among Premature and Term Neonates: A Cross-sectional Study. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*. 2023 Dec 1;17(12).
4. Yi X, Chen F, Liu F, Peng Q, Li Y, Li S, Du J, Gao Y, Wang Y. Comparative separation methods and biological characteristics of human placental and umbilical cord mesenchymal stem cells in serum-free culture conditions. *Stem cell research & therapy*. 2020 Dec;11:1-5.



5. Sane MS, Misra N, Mousa OM, Czop S, Tang H, Khoo LT, Jones CD, Mustafi SB. Cytokines in umbilical cord blood-derived cellular product: a mechanistic insight into bone repair. *Regenerative medicine*. 2018 Dec 1;13(8):881-98.
6. Jiao Y, Li XY, Liu J. A new approach to cerebral palsy treatment: discussion of the effective components of umbilical cord blood and its mechanisms of action. *Cell Transplantation*. 2019 May;28(5):497-509.
7. Orlando N, Pellegrino C, Valentini CG, Bianchi M, Barbagallo O, Sparnacci S, Forni F, Fontana TM, Teofili L. Umbilical cord blood: Current uses for transfusion and regenerative medicine. *Transfusion and Apheresis Science*. 2020 Oct 1;59(5):102952.
8. De Luca L, Trino S, Laurenzana I, Simeon V, Calice G, Raimondo S, Podestà M, Santodirocco M, Di Mauro L, La Rocca F, Caivano A. MiRNAs and piRNAs from bone marrow mesenchymal stem cell extracellular vesicles induce cell survival and inhibit cell differentiation of cord blood hematopoietic stem cells: a new insight in transplantation. *Oncotarget*. 2015 Dec 29;7(6):6676.
9. Morhayim J, Van De Peppel J, Braakman E, Rombouts EW, Ter Borg MN, Dudakovic A, Chiba H, Van Der Eerden BC, Raaijmakers MH, Van Wijnen AJ, Cornelissen JJ. Osteoblasts secrete miRNA-containing extracellular vesicles that enhance expansion of human umbilical cord blood cells. *Scientific reports*. 2016 Sep 2;6(1):32034.
10. Pereira T, Ivanova G, Caseiro AR, Barbosa P, Bártolo PJ, Santos JD, Luis AL, Mauricio AC. MSCs conditioned media and umbilical cord blood plasma metabolomics and composition. *PloS one*. 2014 Nov 25;9(11):e113769.
11. Olofsson P. Umbilical cord pH, blood gases, and lactate at birth: normal values, interpretation, and clinical utility. *American journal of obstetrics and gynecology*. 2023 May 1;228(5):S1222-40.
12. Vanspranghels R, Houfflin-Debarghe V, Deken V, Rakza T, Maboudou P, Storme L, Ghesquiere L, Garabedian C. Umbilical cord arterial and venous gases, ionogram, and glucose level for predicting neonatal morbidity at term. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*. 2020 Sep 1;252:181-6.
13. James Clement, Qi Yan, Megha Agrawal, Ramon E Coronado, John A Sturges, Markus Horvath, Ake T Lu, Robert T Brooke, Steve Horvath. Umbilical cord plasma concentrate has beneficial effects on DNA methylation GrimAge and human clinical biomarkers. *Aging Cell*. 2022 Sep 2;21(10): e13696.
14. Daboval T, Ouellet P, Charles F, Booth RA, MacLean G, Roeper R, Racinet C. Comparisons between umbilical cord biomarkers for newborn hypoxic-ischemic encephalopathy. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2021 Dec 2;34(23):3969-82.
15. Díaz-Varela M, de Menezes-Neto A, Perez-Zsolt D, Gámez-Valero A, Seguí-Barber J, Izquierdo-Useros N, Martínez-Picado J, Fernández-Becerra C, Del Portillo HA. Proteomics study of human cord blood reticulocyte-derived exosomes. *Scientific Reports*. 2018 Sep 19;8(1):14046.
16. Racinet C, Ouellet P, Muraskas J, Daboval T. Neonatal cord blood eucapnic pH: A potential biomarker predicting the need for transfer to the NICU. *Archives de Pédiatrie*. 2020 Jan 1;27(1):6-11.
17. Fattuoni C, Palmas F, Noto A, Fanos V, Barberini L. Perinatal asphyxia: a review from a metabolomics perspective. *Molecules*. 2015 Apr 17;20(4):7000-16.
18. Bruschi M, Santucci L, Ravera S, Bartolucci M, Petretto A, Calzia D, Ghiggeri GM, Ramenghi LA, Candiano G, Panfoli I. Metabolic signature of microvesicles from umbilical cord mesenchymal stem cells of preterm and term infants. *PROTEOMICS-Clinical Applications*. 2018 May;12(3):1700082.
19. Bianchi M, Papacci P, Valentini CG, Barbagallo O, Vento G, Teofili L. Umbilical cord blood as a source for red-blood-cell transfusion in neonatology: a systematic review. *Vox Sanguinis*. 2018 Nov;113(8):713-25.
20. Nardoza LM, Caetano AC, Zamarian AC, Mazzola JB, Silva CP, Marçal VM, Lobo TF, Peixoto AB, Araujo Júnior E. Fetal growth restriction: current knowledge. *Archives of gynecology and obstetrics*. 2017 May;295:1061-77.
21. Ching T, Ha J, Song MA, Tiirikainen M, Molnar J, Berry MJ, Towner D, Garmire LX. Genome-scale hypomethylation in the cord blood DNAs associated with early onset preeclampsia. *Clinical epigenetics*. 2015 Dec;7:1-6.
22. Womble TA, Green S, Shahaduzzaman M, Grieco J, Sanberg PR, Pennypacker KR, Willing AE. Monocytes are essential for the neuroprotective effect of human cord blood cells following middle cerebral artery occlusion in rat. *Molecular and Cellular Neuroscience*. 2014 Mar 1;59:76-84.
23. Edlow AG, Hui L, Wick HC, Fried I, Bianchi DW. Assessing the fetal effects of maternal obesity via transcriptomic analysis of cord blood: a prospective case-control study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. 2016 Jan;123(2):180-9.



24. Ophelders DR, Wolfs TG, Jellema RK, Zwanenburg A, Andriessen P, Delhaas T, Ludwig AK, Radtke S, Peters V, Janssen L, Giebel B. Mesenchymal stromal cell-derived extracellular vesicles protect the fetal brain after hypoxia-ischemia. *Stem cells translational medicine*. 2016 Jun 1;5(6):754-63.
25. Eden RD, Evans MI, Britt DW, Evans SM, Gallagher P, Schifrin BS. Combined prenatal and postnatal prediction of early neonatal compromise risk. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2021 Sep 17;34(18):2996-3007.
26. Ducsay CA, Goyal R, Pearce WJ, Wilson S, Hu XQ, Zhang L. Gestational hypoxia and developmental plasticity. *Physiological reviews*. 2018 Jul 1;98(3):1241-334.
27. Segler A, Braun T, Fischer HS, Dukatz R, Weiss CR, Schwickert A, Jäger C, Bühner C, Henrich W. Feasibility of umbilical cord blood collection in neonates at risk of brain damage—a step toward autologous cell therapy for a high-risk population. *Cell transplantation*. 2021 Feb 25;30:0963689721992065.
28. Gruccio S, Di Carlo MB, Pandolfo M, Santa Cruz G, Touzon MS, Negri G, Giuliano R, Vega HR, Blanco MV, Perazzi BE. Biochemical profiling study in umbilical cord blood as predictors of neonatal damage. *International Journal of Clinical Pediatrics*. 2014 Apr 11;3(1):5-11.
29. Lear CA, Kasai M, Booth LC, Drury PP, Davidson JO, Maeda Y, Magawa S, Miyagi E, Ikeda T, Westgate JA, Bennet L. Peripheral chemoreflex control of fetal heart rate decelerations overwhelms the baroreflex during brief umbilical cord occlusions in fetal sheep. *The Journal of Physiology*. 2020 Oct;598(20):4523-36.
30. Chafer-Pericas C, Cernada M, Rahkonen L, Stefanovic V, Andersson S, Vento M. Preliminary case control study to establish the correlation between novel peroxidation biomarkers in cord serum and the severity of hypoxic ischemic encephalopathy. *Free Radical Biology and Medicine*. 2016 Aug 1;97:244-9.

Отримано 14.05.2025 р.