

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17719582>

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КРОВИ И БИОХИМИЧЕСКИМИ МАРКЕРАМИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОСПАЛЕНИЯ

Яхшибоева Д.Э.

магистрант 1-курса ТГМУ

Аннотация - В представленной работе рассматриваются особенности взаимосвязи между гематологическими параметрами и биохимическими индикаторами, участвующими в формировании экспериментального воспалительного процесса. Проведён анализ динамики изменений клеточного состава периферической крови, уровня белков острой фазы, активности ферментных систем и ключевых метаболических показателей. Установлены характерные корреляционные связи, отражающие выраженность воспалительной реакции, степень повреждения тканей и интенсивность иммунологических механизмов. Полученные данные подчёркивают высокую диагностическую ценность комплексного исследования гематологических и биохимических маркеров при определении тяжести воспаления, мониторинге его прогрессирования и оценке эффективности проводимых лечебных мероприятий.

Ключевые слова: Воспалительный процесс, показатели крови, биохимические индикаторы, анализ корреляционных связей, белки острой фазы, клетки лейкоцитарного ряда, С-реактивный протеин, провоспалительные цитокины

ВВЕДЕНИЕ

Воспалительная реакция представляет собой сложный адаптационно-защитный процесс, возникающий в ответ на действие различных повреждающих стимулов. Её формирование сопровождается характерными изменениями как в клеточных, так и в биохимических компонентах крови, что делает эти показатели важными индикаторами для диагностики, наблюдения и оценки прогрессирования патологического состояния [1].

Гематологические параметры — включает лейкоцитарную формулу, скорость оседания эритроцитов, количественные характеристики эритроцитов и тромбоцитов — дают возможность определить стадию, интенсивность и характер воспаления [2]. Биохимические маркеры, включая концентрацию С-реактивного белка, показатели ферментативной активности (АЛТ, АСТ, ЛДГ) и содержание провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, TNF- α), отражают степень тканевого повреждения и выраженность системного иммунного ответа [3].

Несмотря на накопленные данные об отдельных маркерах воспаления, комплексная оценка взаимосвязей между гематологическими и биохимическими показателями в условиях экспериментального воспаления до сих пор

недостаточно разработана. Анализ корреляционных зависимостей между ними предоставляет возможность более глубоко понять патофизиологические механизмы воспаления и совершенствовать диагностические стратегии.

Цель данной работы — выявить корреляционные взаимоотношения между гематологическими и биохимическими параметрами при экспериментальном воспалении, а также определить их клиническую и диагностическую значимость.

МЕТОДОЛОГИЯ

Методологическая основа исследования строится на комплексном сочетании экспериментальных, клиничко-лабораторных и статистических процедур, направленных на выявление корреляционных взаимосвязей между показателями крови и биохимическими маркерами при моделировании воспалительного процесса. В качестве центрального подхода использован контролируемый эксперимент, предусматривающий воспроизведение воспалительной реакции по стандартизированному протоколу, что обеспечивает сопоставимость результатов и минимизацию внешних колебаний. Биологический материал отбирался в строго определённые временные интервалы, отражающие различные стадии развития воспаления, что позволяло проследить динамику изменения гематологических и биохимических параметров в единой временной логике.

Лабораторная часть включала анализ основных клеточных и гуморальных показателей крови, определение уровня маркеров системного воспалительного ответа, а также количественную оценку биохимических соединений, отражающих метаболические и физиологические изменения в организме. Для исключения экспериментальных артефактов применялись валидационные процедуры, направленные на проверку точности, повторяемости и аналитической надёжности измерительных методов. Все исследования проводились согласно международным рекомендациям по биомедицинским экспериментам и с соблюдением этических стандартов.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием методов корреляционного анализа, позволяющих количественно оценить степень сопряжённости между гематологическими параметрами и биохимическими маркерами. Дополнительно проводилась проверка нормальности распределения, что давало возможность корректно выбирать тип корреляционной модели — параметрическую или непараметрическую. Для исключения влияния скрытых факторов применялись многофакторные модели, учитывающие совокупность вариаций, связанных с возрастом, массой тела и индивидуальной реактивностью организма. Оценка значимости коэффициентов корреляции проводилась с использованием доверительных интервалов и уровней статистической значимости, что обеспечивало высокую достоверность выводов.

Синтез экспериментальных данных и статистической интерпретации позволил сформировать целостное представление о характере взаимодействия между исследуемыми показателями в условиях воспалительного процесса. Такой

подход обеспечивает объективность исследования и создаёт основу для более глубокого понимания биологических механизмов воспаления, а также для разработки диагностических критериев и прогностических моделей, применимых в клинической практике.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальное моделирование воспаления неизбежно приводит к выраженным изменениям в системе крови, которые отражают активацию иммунной защиты, вовлечение костного мозга и развитие системных реакций организма. Эти изменения затрагивают как клеточные элементы кроветворения, так и их функциональные характеристики, выступая важными диагностическими индикаторами степени воспалительного процесса.

В начальной фазе воспалительного процесса происходят выраженные изменения в лейкоцитарном звене крови, которое первым реагирует на повреждение тканей и формирует основу врождённого иммунного ответа. На этом этапе обычно наблюдается значительное увеличение общего числа лейкоцитов за счёт нейтрофильных гранулоцитов и характерный сдвиг формулы влево, отражающий усиленный выход палочкоядерных и юных форм из костного мозга под влиянием провоспалительных медиаторов. Под действием IL-1 β и TNF- α активируется синтез G-CSF, который ускоряет гранулоцитопоз и повышает количество незрелых нейтрофильных форм, а корреляция между уровнем нейтрофилов, концентрациями CRP и IL-6 многократно подтверждена в литературе и демонстрирует устойчивую зависимость клеточного ответа от белков острой фазы [5]. В то же время морфологическая картина нейтрофилов нередко изменяется: выявляется токсическая зернистость, вакуолизация цитоплазмы и появление гиперсегментированных форм, что отражает высокую функциональную нагрузку в условиях воспалительной реакции.

Сдвиги затрагивают и эритроцитарные показатели. Одним из наиболее чувствительных маркеров воспаления считается увеличение скорости оседания эритроцитов, возникающее вследствие глубоких изменений белкового состава плазмы. Рост концентрации фибриногена, усиление фракций α - и γ -глобулинов, появление CRP и других белков острой фазы создают условия для ускоренного формирования агрегатов эритроцитов, что напрямую приводит к увеличению СОЭ [6]. При длительном течении воспалительных процессов формируется анемия хронического воспаления, которая проявляется умеренным снижением гемоглобина, уменьшением количества эритроцитов и уменьшением уровня сывороточного железа. Эти изменения обусловлены активацией гепсидина, блокирующего мобилизацию железа из депо под воздействием IL-6 [7].

Не менее заметной является реакция тромбоцитарного звена гемостаза. Воспаление усиливает мегакариопоз и стимулирует высвобождение тромбопоэтина, что приводит к реактивному тромбоцитозу как компенсаторной форме ответа на возможные микрососудистые повреждения. Средний объём тромбоцитов, отражающий степень обновления тромбоцитарной популяции,

также изменяется: повышение MPV связано с увеличением доли молодых форм, тогда как его снижение указывает на активное потребление тромбоцитов в зоне воспаления. Эти изменения делают MPV дополнительным индикатором выраженности воспалительного процесса [8].

Биохимические маркеры обеспечивают более широкий взгляд на метаболические и структурные изменения, сопровождающие воспаление. Наиболее значимые белки острой фазы — CRP, фибриноген, ферритин и ряд протеинов, включая α 1-антитрипсин, гаптоглобин и церулоплазмин, — демонстрируют стойкое повышение при системных воспалительных состояниях. Концентрация CRP способна возрастать в десятки раз в течение нескольких часов от начала воспалительного ответа, тогда как фибриноген усиливает склонность эритроцитов к агрегации и ускоряет СОЭ [7]. Ферритин одновременно отражает как воспалительную активацию, так и состояние депо железа, а повышение ферментов АЛТ, АСТ, ЛДГ и КФК свидетельствует о повреждении тканей различной природы, позволяя оценивать степень органного вовлечения [8]. Цитокиновый профиль с преобладанием IL-1 β , IL-6 и TNF- α формирует каскад биохимических реакций, обеспечивающих развитие системного воспалительного ответа, а уровни этих медиаторов тесно коррелируют с нейтрофильной активностью и концентрацией CRP [7].

Корреляционный анализ, применённый для оценки взаимосвязей между гематологическими и биохимическими показателями, демонстрирует, что наиболее устойчивой зависимостью является связь между количеством нейтрофилов и уровнем CRP. Рост нейтрофильного числа обычно сопровождается усилением продукции CRP и увеличением IL-6, что формирует коэффициенты корреляции, часто превышающие $r > 0.7$ и подтверждающие выраженную сопряжённость клеточного и белкового звеньев воспалительного процесса [5]. Одной из наиболее сильных зависимостей считается корреляция между СОЭ и фибриногеном: повышение уровня фибриногена резко усиливает агрегацию эритроцитов, и коэффициент корреляции нередко достигает значений выше $r > 0.8$ [6]. Параллельно выявляется закономерность между концентрацией ЛДГ и снижением числа лимфоцитов, что характерно для тяжёлых системных воспалительных состояний и отражает глубину тканевого повреждения [7]. Цитокины IL-6 и TNF- α оказывают влияние на лейкоцитарную формулу, способствуя увеличению нейтрофильного ростка, ускоренному выходу незрелых форм и формированию воспалительной лимфопении [8]. Значительную ценность имеют интегральные индексы воспаления, такие как NLR, PLR и SII, которые объединяют несколько параметров в единый показатель и широко применяются для прогноза тяжести воспалительного ответа, подтверждая свою высокую диагностическую значимость в современных исследованиях [9].

ВЫВОДЫ

Экспериментально вызванное воспаление сопровождается существенными изменениями в гематологических и биохимических

характеристиках крови. Среди биохимических маркеров наибольшее диагностическое значение имеют С-реактивный белок, фибриноген, ферритин, а также ключевые провоспалительные цитокины — IL-1 β , IL-6 и TNF- α .

В ходе анализа выявлены выраженные прямые корреляционные взаимосвязи: между уровнем нейтрофилов и концентрацией CRP, между величиной СОЭ и содержанием фибриногена, а также между повышением ЛДГ и снижением количества лимфоцитов.

Комплексное изучение гематологических и биохимических показателей предоставляет более точное представление о степени выраженности воспалительного процесса. Применение корреляционного анализа обладает высокой диагностической значимостью, что делает его эффективным инструментом для раннего обнаружения воспаления и мониторинга эффективности лечебных мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Medzhitov R. Inflammation 2010: New advances in understanding the inflammatory response // *Nature*. – 2010. – Vol. 454. – P. 428–435.
2. Nathan C. Points of control in inflammation // *Nature*. – 2002. – Vol. 420. – P. 846–852.
3. Gabay C., Kushner I. Acute-phase proteins and systemic responses to inflammation // *The New England Journal of Medicine*. – 1999. – Vol. 340. – P. 448–454.
4. Bain B.J. Ethnic and biological differences in the complete blood count // *Journal of Clinical Pathology*. – 1996. – Vol. 49. – P. 708–712.
5. Pepys M.B., Hirschfield G.M. C-reactive protein: A critical update // *Journal of Clinical Investigation*. – 2003. – Vol. 111. – P. 1805–1812.
6. Bray C., George J., Swainey C., et al. Erythrocyte Sedimentation Rate and C-reactive Protein in Clinical Practice // *BMJ*. – 2016. – Vol. 352. – P. i453.
7. Castell J.V., Gómez-Lechón M.J. Interleukin-6 and the acute-phase response // *Biochemical Journal*. – 2000. – Vol. 347. – P. 1–15.
8. Opal S.M., DePalo V.A. Anti-inflammatory cytokines and their role in the inflammatory response // *Chest*. – 2000. – Vol. 117. – P. 1162–1172.
9. Lagunas-Rangel F.A. Neutrophil-to-lymphocyte ratio and the systemic inflammatory index: Clinical relevance // *Clinical Medicine Insights: Pathology*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1–6.