Токсичные и эссенциальные микроэлементы в практике врача-терапевта

CHROMOLAB

SCAN ME

+7(495) 369-33-09 | chromolab.ru

1. Биологическая роль токсических и эссенциальных микроэлементов

Для врача-терапевта понимание баланса микроэлементов критически важно. В то время как одни элементы жизненно необходимы, другие, даже в следовых количествах, способны вызывать тяжелую интоксикацию. Нарушение этого хрупкого равновесия лежит в основе многих хронических заболеваний.

📌 **Ключевые биологические эффекты в терапии:**

- Оксидативный стресс: Многие элементы, особенно металлы с переменной валентностью (железо, медь, хром, марганец), участвуют в реакции Фентона, генерируя свободные радикалы. Это повреждает липиды, белки и ДНК, приводя к апоптозу, хроническому воспалению, нейродегенеративным и сердечно-сосудистым заболеваниям.
- Нарушение работы систем защиты: Ингибирование ключевых ферментов антиоксидантной системы (супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, каталазы) усугубляет оксидативный стресс.
- Митохондриальная дисфункция и апоптоз: Нарушение энергетического обмена и запуск программируемой гибели клетки – общий путь токсичности для многих металлов.
- Мутагенез и канцерогенез: Прямое повреждение ДНК (разрывы цепей, окисление нуклеотидов) и эпигенетические изменения, вызываемые такими элементами, как мышьяк, никель и кадмий, предрасполагают к онкогенезу.
- "Миметическая" токсичность: Токсичные ионы часто имитируют эссенциальные (кадмий – цинк, таллий – калий, мышьяк – фосфор), встраиваясь в ферменты и белки и нарушая их функцию.
- **Эффекты отдельных микроэлементов:**
    - Алюминий (Al):
        - Нейротоксичен, накапливается в ЦНС, способствует агрегации тау-белка и бета-амилоида, что связывают с патогенезом энцефалопатии и болезни Альцгеймера.
        - Конкурирует с железом и магнием, нарушая работу ферментов.
        - При хронической болезни почек нарушает метаболизм костной ткани, вызывая остеомаляцию.

- Барий (Ba):
  - Блокирует калиевые каналы, что приводит к резкой гипокалиемии и, как следствие, к мышечной слабости, парезам и опасным аритмиям.
- Бериллий (Be):
  - Выраженная иммунотоксичность и канцерогенность.
  - Вызывает хроническую бериллиевую болезнь (гранулематоз легких, аналогичный саркоидозу) по клеточно-опосредованному механизму (гиперчувствительность IV типа).
  - Прямое повреждение ДНК и ингибирование ее репарационных систем.
- Ванадий (V):
  - В высоких дозах токсичен: генерирует оксидативный стресс, ингибирует Na+/K+-АТФазу и другие фосфатазы.
  - Необходим для белков инсулинового сигналинга, его дефицит вызывает инсулинорезистентность
- Железо (Fe):
  - Ключевой эссенциальный элемент: входит в состав гема (гемоглобин, миоглобин, цитохромы), участвует в транспорте кислорода и клеточном дыхании.
  - Участвует в реакции Фентона, поэтому его избыток приводит к массивному оксидативному стрессу (гемохроматоз).
  - Дефицит приводит к микроцитарной гипохромной анемии.
- Йод (I):
  - Жизненно важный элемент для синтеза гормонов щитовидной железы (T3, T4).
  - Дефицит приводит к гипотиреозу, зобу, кретинизму у детей.
  - Избыток может вызывать как гипер-, так и гипотиреоз.
- Кадмий (Cd):
  - Из-за сходства с цинком замещает его в ДНК-связывающих доменах транскрипционных факторов, нарушая регуляцию генов и способствуя канцерогенезу.
  - Конкурирует с Zn, Ca, Cu за транспортеры, вызывая их дефицит.
  - Снижает почечную продукцию витамина D, нарушая кальциевый метаболизм и приводя к остеомаляции.

        - Вызывает стресс эндоплазматического ретикулума, нарушая фолдинг белков.
    - Кобальт (Co):
        - Входит в состав витамина B12, нужного для синтеза ДНК и метаболизма разветвленных аминокислот.
        - Конкурирует с ионами железа и кальция, нарушая работу многочисленных ферментов.
        - Ингибирует ключевые ферменты дыхательной цепи и цикл Кребса, вызывая гипоксию и лактат-ацидоз.
        - Подавляет поглощение йода щитовидной железой, приводя к зобу.
    - Магний (Mg):
        - Жизненно важный микроэлемент, нужный для работы множества ферментов. Его недостаток отражается в нарушении работы нервной, сердечно-сосудистой и иммунной систем. Это фактор риска таких заболеваний как артериальная гипертензия, эклампсия, сахарный диабет 2 типа, мигрень, астма.
    - Марганец (Mn):
        - Нужен для работы антиоксидантных ферментов, глутамин синтетазы, аргиназы и гликозилтрансфераз. Таким образом необходим для метаболизма аминокислот, что особенно важно для нервной системы.
        - Избыток накапливается в базальных ганглиях, вызывая синдром, напоминающий болезнь Паркинсона. Также он стимулирует амилоидогенез и накопление альфа-синуклеина.
        - Нарушает обмен железа, делая невозможным клеточное дыхание синтез гема.
    - Медь (Cu):
        - Необходима для работы электрон-транспортной цепи и для работы супероксиддисмутазы.
        - Участвует в генерации свободных радикалов по реакции Фентона.
        - При болезни Вильсона-Коновалова нарушение экскреции меди приводит к ее накоплению в печени (вызывая гепатит и цирроз) и в ЦНС (базальные ганглии), что проявляется

экстрапирамидными расстройствами.

- Молибден (Mo):
  - Является кофактором ксантиноксидазы, отвечающей за обмен пуринов, альдегид оксидазы и сульфит оксидазы, необходимой для метаболизма серосодержащих аминокислот.
  - Формирует тиомолибденовые соединения, связывающие медь. Высокие дозы вызывают дефицит меди и вторичную анемию.
- Мышьяк (As):
  - Замещает фосфор в биохимических реакциях, образуя нестабильные соединения, что нарушает энергетический обмен (ингибирование окислительного фосфорилирования).
  - Ингибирует пируватдегидрогеназу, нарушая цикл Кребса.
  - Выраженный канцероген, вызывающий повреждение ДНК и эпигенетические изменения.
- Никель (Ni):
  - Аллерген, вызывает контактный дерматит.
  - Канцероген, механизмы включают эпигенетическое редактирование (гипометилирование ДНК), генерацию оксидативного стресса и нарушение репарации ДНК.
- Олово (Sn):
  - Токсичность неорганического олова относительно низка. Основной риск связан с органическими соединениями (триалкилолово).
  - Органические соединения высокотоксичны для нервной системы и иммунитета.
- Палладий (Pd) и Платина (Pt):
  - Сильные аллергены, вызывают контактный дерматит.
  - Используются в химиотерапии (цисплатин, карбоплатин), их механизм действия – образование сшивок в ДНК, что запускает апоптоз. Системная токсичность включает нефро- и ототоксичность.
- Ртуть (Hg):
  - Высокоаффинно связывается с тиольными (-SH) группами ферментов, инактивируя их.
  - Замещает селен в селенопротеинах (глутатионпероксидаза,

дейодиназа), приводя к функциональному дефициту селена и нарушению антиоксидантной защиты и работы щитовидной железы.
        - Нарушает кальциевый гомеостаз в нейронах, блокируя синаптическую передачу.
    - Свинец (Pb):
        - Ингибирует ключевые ферменты синтеза гема (δ-АЛК-дегидратаза, феррохелатаза), вызывая микроцитарную гипохромную анемию.
        - Нарушает кальций-зависимый сигналинг и в целом гомеостаз кальция в нейронах, приводя к их гиперактивации и апоптозу.
    - Селен (Se):
        - В составе селенопротеинов – мощный антиоксидант. Также нужен для работы ферментов щитовидной железы. Дефицит приводит к болезни Кешана (кардиомиопатия) и Кашина-Бека (остеоартропатия).
        - Избыток сам вызывает оксидативный стресс. Замещает серу в аминокислотах (цистеин, метионин), приводя к нарушению структуры и функции белков.
    - Сурьма (Sb):
        - По токсичности и механизму действия схожа с мышьяком, но менее активна.
        - Вызывает раздражение слизистых, дерматиты, нарушает энергетический обмен.
    - Таллий (Tl):
        - Замещает калий в жизненно важных процессах, включая работу Na+/K+-АТФазы, что приводит к тяжелому поражению нервной системы и сердца.
        - Нарушает функцию рибофлавина (витамина B2), вызывая алопецию и поражение кожи.
    - Серебро (Ag):
        - Связывается с сульфгидрильными группами, нарушая функцию ферментов и транспортных белков (в том числе гемоглобина).
        - Основное проявление – аргирия – сине-серая пигментация кожи и слизистых.

- Хром (Cr):
    - Необходим для поддержания чувствительности к инсулину, его недостаток приводит к инсулинорезистентности.
    - Токсичность в основном связана с гексавалентной формой (CrO42-), которая легко проникает в клетки и, восстанавливаясь до Cr(III), генерирует массивный оксидативный стресс, повреждая ДНК (канцероген).
- Цинк (Zn):
    - Нужен для множества ферментов, в том числе отвечающих за антиоксидантную защиту и за связывание транскрипционных факторов с ДНК (домен “цинковых пальцев”).
    - Избыток цинка конкурирует с медью за всасывание, приводя к ее дефициту, который проявляется микроцитарной анемией и нейтропенией.
    - Индуцирует синтез металлотионеинов в кишечнике, которые связывают медь и препятствуют ее абсорбции.

2. Исследование уровня токсичных и эссенциальных микроэлементов показано:

Определение уровня токсичных и эссенциальных микроэлементов показано в следующих клинических ситуациях:

- Наличие клинических симптомов, позволяющих заподозрить дефицит эссенциальных или интоксикацию токсичными элементами.
- Периферическая нервная система:
    - Необъяснимая сенсорная или моторная полинейропатия (онемение, парестезии, слабость в конечностях).
    - Подозреваемые элементы: Pb, As, Hg, Tl, Mn, Sn.
- Центральная нервная система:
    - Когнитивные нарушения: снижение памяти, концентрации внимания, "мозговой туман".
    - Энцефалопатия: спутанность сознания, изменения личности.
    - Двигательные расстройства: тремор, паркинсонизм, атаксия.
    - Подозреваемые элементы: Mn, Pb, Hg, Cu (болезнь Вильсона), As, Al.
- Почечная симптоматика:

    - Хроническая болезнь почек (ХБП) при отсутствии гипертензии и диабета.
    - Тубулопатии: синдром Фанкони (глюкозурия, аминоацидурия, фосфатурия).
    - Протеинурия (особенно низкомолекулярная).
    - Подозреваемые элементы: Cd, Pb, Hg, As, Cr, Pt, Pd (при химиотерапии).
- Гематологическая симптоматика:
    - Анемии, резистентные к терапии препаратами железа:
    - Микроцитарная гипохромная анемия: подозрение на ингибирование синтеза гема.
    - Подозреваемые элементы: Pb, As, Cu (дефицит), Fe (дефицит или избыток), Ag.
    - Лейкопения/нейтропения неясного генеза.
    - Подозреваемые элементы: Cu (при дефиците), Zn (при избытке).
- Желудочно-кишечная симптоматика:
    - Рецидивирующие колики - сильные спастические боли в животе.
    - Необъяснимая тошнота, рвота, диарея.
    - Нарушение вкуса (дисгевзия) - металлический привкус.
    - Подозреваемые элементы: Pb, As, Hg, Zn (в избытке), Cu, Mo.
- Кардиологическая симптоматика:
    - Кардиомиопатии, не поддающиеся стандартному лечению.
    - Аритмии неясного генеза.
    - Подозреваемые элементы: Co, Se (при дефиците - болезнь Кешана), Ba
- Костно-мышечная симптоматика:
    - Остеопороз или остеомаляция у лиц без классических факторов риска.
    - Мышечная слабость, миопатии.
    - Подозреваемые элементы: Cd, Cu (дефицит), Al.
- Дерматологическая симптоматика:
    - Изменения пигментации кожи (гипер- или гипопигментация).
    - Гиперкератоз ладоней и подошв.
    - Алопеция (выпадение волос).
    - Аллергический контактный дерматит.
    - Подозреваемые элементы: As, Se (в избытке), Tl, Ni, Pd, Pt, Co, Be.
- Пульмонологическая симптоматика:

    - Саркоидоподобные гранулематозные заболевания легких.
    - Хронический фиброз легких.
    - Подозреваемые элементы: Be, Al (в виде пыли).
- Оценка нутритивного статуса и метаболических нарушений:
    - Состояния мальабсорбции (болезнь Крона, целиакия, состояние после бариатрических операций): для оценки и коррекции дефицита цинка (Zn), меди (Cu), селена (Se), хрома (Cr), железа (Fe), йода (I) и др.
    - Парентеральное питание: для регулярного мониторинга и предупреждения как дефицита, так и перегрузки микроэлементами (напр., марганца (Mn), который выводится через желчь; алюминия (Al), который может загрязнять растворы).
    - Несбалансированные диеты, веганство, длительное голодание: для выявления дефицита цинка (Zn), селена (Se), железа (Fe), йода (I).
    - Синдром хронической усталости, астения неясного генеза.
    - Нарушения толерантности к глюкозе, инсулинорезистентность: для оценки статуса хрома (Cr), магния (Mg), цинка (Zn), ванадия (V).
    - Нарушения функции щитовидной железы: для оценки статуса йода (I), селена (Se).
- Профессиональный анамнез:
    - Работники металлургических, гальванических, аккумуляторных производств (Pb, Cd, Ni, Sb).
    - Горнодобывающая промышленность, шахтеры (Be, Al).
    - Стоматологи и зубные техники (Hg, Pd, Pt).
    - Сварщики, литейщики (Mn, Cr, Ni, Fe, V).
    - Сельское хозяйство (использование пестицидов, содержащих As, Cu).
    - Производство стекла и керамики (Ba, Sn).
    - Авиа- и машиностроение (Be).
- Экологический анамнез:
    - Проживание в промышленных регионах.
    - Потребление воды из непроверенных источников (риск высокого содержания As, Al, Ba).
    - Употребление в пищу дичи, рыбы из загрязненных водоемов (источники Hg, Cd, Pb).
    - Использование традиционной или народной медицины с неконтролируемым составом.

    - Проживание в старых домах с свинцовой краской или свинцовыми трубами.
- Мониторинг терапии и специфических состояний:
    - Контроль эффективности хелатной терапии при подтвержденных отравлениях тяжелыми металлами.
    - Длительный гемодиализ: для контроля статуса цинка (Zn), селена (Se), алюминия (Al).
    - Профилактический скрининг риска развития онкологических, нейродегенеративных (болезнь Альцгеймера, Паркинсона) и сердечно-сосудистых заболеваний, в патогенезе которых участвует дисбаланс микроэлементов.

3. Преимущества определения токсичных и эссенциальных микроэлементов методом ИСП-МС

Мультиэлементный анализ: Ключевое преимущество. Метод ИСП-МС позволяет одновременно определить десятки эссенциальных и токсичных элементов в одном образце, что экономит время и биоматериал пациента, обеспечивая комплексную оценку.

Высокая точность и специфичность: Прямое и селективное определение элементов исключает интерференцию и обеспечивает максимально достоверные результаты даже в сложных биологических матрицах.

Чувствительность: Технология позволяет точно измерять следовые концентрации, что критически важно для выявления хронической интоксикации на доклинической стадии и для мониторинга профессиональных рисков.

Измерение эссенциальных и токсичных микроэлементов в моче - отражает скорость выведения элемента из организма. Позволяет оценить как недавнее воздействие, так и общую нагрузку на организм.

- Высокий уровень экскреции элемента даже при нормальном уровне в крови может указывать на его избыток и активное выведение.
- Эффективность хелатотерапии при отравлении тяжелыми металлами оценивается именно по резкому увеличению их экскреции с мочой после введения хелатора.

- При почечной недостаточности экскреция нарушается, и уровень в моче не отражает реальную нагрузку.
- Концентрация в разовой порции мочи сильно зависит от диуреза. Предпочтительнее использовать суточную мочу, но ее сбор не всегда удобен для пациента.
- Не подходит для всех элементов, например, для алюминия или марганца уровень в моче менее информативен.

4. Chromolab рядом с вами

Мы в **Chromolab** понимаем, что современный терапевт сталкивается с необходимостью диагностики состояний, выходящих за рамки типичных нозологий. Наша задача — предоставить вам точный и надежный инструмент для выявления экологических, профессиональных рисков и дисбаланса микроэлементов у ваших пациентов. Комплексное определение их уровня методом ИСП-МС, включая широкий спектр элементов от алюминия до цинка, — это уверенность в том, что ваше диагностическое решение основано на безупречных лабораторных данных, позволяющих подтвердить или исключить интоксикацию или дефицит.

Мы всегда готовы к оперативному сотрудничеству и консультациям по интерпретации результатов. Для вас это — возможность проведения углубленной дифференциальной диагностики и снижение рисков ваших пациентов, а для ваших пациентов — шанс выявить скрытую причину хронического недомогания и предотвратить необратимые повреждения здоровья.

👉 Подробнее на сайте: