НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

УДК-577.27

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТАРЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Фёдоров Игорь Алексеевич
старший преподаватель, Казанский федеральный университет
Россия, г. Казань.

Аннотация

Данная статья посвящена анализу взаимосвязи между ключевыми молекулярными механизмами старения и патогенезом нейродегенеративных заболеваний. С увеличением продолжительности жизни населения, нейродегенеративные расстройства, такие как болезни Альцгеймера и Паркинсона, становятся серьезной глобальной проблемой здравоохранения. В работе рассматриваются основные гипотезы и подтвержденные механизмы старения, включая окислительный стресс, митохондриальную дисфункцию, нарушение аутофагии, хроническое воспаление и укорочение теломер. Обсуждается, как эти процессы, накапливаясь с возрастом, способствуют накоплению повреждений в нейронах, нарушению их функций и прогрессированию нейродегенеративных состояний. Анализируются общие молекулярные пути, которые могут служить мишенями для терапевтических вмешательств, направленных как на замедление старения, так и на профилактику и лечение нейродегенеративных заболеваний. Статья подчеркивает необходимость междисциплинарных исследований для разработки эффективных стратегий борьбы с возраст-ассоциированными патологиями нервной системы.

Ключевые слова: Старение, нейродегенеративные заболевания, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, окислительный стресс, митохондриальная дисфункция, аутофагия, нейровоспаление, теломеры, биомаркеры.

1. Введение

Старение является сложным биологическим процессом, характеризующимся прогрессирующим снижением физиологических функций, увеличением уязвимости к стрессам и повышением риска развития возраст-ассоциированных заболеваний. Среди последних особое место занимают **нейродегенеративные заболевания (НДЗ)**, такие как **болезнь Альцгеймера (БА), болезнь Паркинсона (БП), боковой амиотрофический склероз (БАС)** и другие. Эти заболевания характеризуются прогрессирующей потерей структуры или функции нейронов и их последующей гибелью.

Возраст является основным фактором риска для большинства НДЗ, что указывает на глубокую связь между процессами старения и их патогенезом.

Понимание молекулярных механизмов, лежащих в основе как нормального старения, так и развития НДЗ, имеет решающее значение для разработки эффективных диагностических и терапевтических стратегий. Целью данной статьи является анализ ключевых молекулярных механизмов старения и их влияния на развитие нейродегенеративных заболеваний, с акцентом на общие патологические пути, которые могут служить потенциальными мишенями для вмешательства.

2. Основные молекулярные механизмы старения

Современная геронтология выделяет несколько взаимосвязанных молекулярных и клеточных механизмов, которые вносят вклад в процесс старения:

2.1. Окислительный стресс и повреждение ДНК

Окислительный стресс возникает из-за дисбаланса между продукцией активных форм кислорода (АФК) и способностью организма их нейтрализовать. АФК, такие как супероксидный анион, гидроксильный радикал и перекись водорода, являются побочными продуктами клеточного метаболизма (особенно митохондриального дыхания). С возрастом эффективность антиоксидантных систем снижается, что приводит к накоплению АФК и повреждению макромолекул: белков (окислительная модификация), липидов (перекисное окисление) и **ДНК**. Повреждения ДНК, если они не репарируются, могут приводить к мутациям, нарушению генной экспрессии и клеточной дисфункции. Накопление окислительных повреждений нейронов является ключевым признаком стареющего мозга и многих НДЗ.

2.2. Митохондриальная дисфункция

Митохондрии являются клеточными "энергетическими станциями", продуцирующими АТФ. С возрастом наблюдается снижение эффективности митохондрий, увеличение продукции АФК, накопление мутаций в митохондриальной ДНК (мтДНК) и нарушение митохондриальной динамики (слияния и деления). Дисфункциональные митохондрии не могут адекватно обеспечивать нейроны энергией, что критически важно, так как нейроны являются одними из самых энергоемких клеток организма. Нарушение работы митохондрий играет центральную роль в патогенезе БА, БП и БАС.

2.3. Нарушение аутофагии и протеасомной системы

Аутофагия и **протеасомная система** — это основные клеточные механизмы, отвечающие за удаление поврежденных белков, органелл и агрегатов. С возрастом эффективность этих систем снижается, что приводит к **накоплению токсичных агрегированных белков** (например, бета-амилоида и тау-белка при БА, альфа-

синуклеина при БП). Эти агрегаты нарушают клеточные функции, вызывают стресс эндоплазматического ретикулума и могут приводить к гибели нейронов.

2.4. Хроническое воспаление (нейровоспаление)

С возрастом в организме развивается состояние **хронического системного воспаления низкой степени**, которое часто называют "инфламэйджинг" (inflammaging). В мозге это проявляется как **нейровоспаление**, характеризующееся хронической активацией микроглии (иммунных клеток мозга) и астроцитов. Хотя острое воспаление является защитной реакцией, хроническое нейровоспаление приводит к продукции провоспалительных цитокинов и АФК, которые повреждают нейроны и способствуют их дегенерации. Нейровоспаление считается ключевым фактором прогрессирования БА и БП.

2.5. Укорочение теломер и клеточное старение (сенесценция)

Теломеры — это защитные концевые участки хромосом, которые укорачиваются при каждом делении клетки. Критическое укорочение теломер приводит к активации клеточного стресса и переходу клетки в состояние **сенесценции (старения)**. Сенесцентные клетки прекращают деление, но остаются метаболически активными, выделяя провоспалительные факторы (SASP — senescence-associated secretory phenotype), которые негативно влияют на окружающие ткани и способствуют развитию возраст-ассоциированных заболеваний, включая НДЗ. Хотя нейроны являются постмитотическими клетками, сенесценция глиальных клеток (астроцитов, микроглии) в мозге вносит значительный вклад в нейродегенерацию.

3. Влияние механизмов старения на развитие нейродегенеративных заболеваний

Все вышеупомянутые механизмы старения не действуют изолированно, а тесно взаимосвязаны и потенцируют друг друга, создавая порочный круг, который ведет к нейродегенерации.

- **Окислительный стресс** повреждает митохондрии, нарушает функцию протеасомной системы и аутофагии, а также активирует нейровоспаление.
- **Митохондриальная дисфункция** приводит к дальнейшей продукции АФК и энергетическому дефициту нейронов, что делает их более уязвимыми к стрессам и агрегации белков.
- **Нарушение аутофагии и протеасомной системы** ведет к накоплению токсичных белковых агрегатов, таких как **амилоидные бляшки и нейрофибриллярные клубки** при БА, или **тельца Леви** при БП, которые являются характерными патологическими признаками этих заболеваний.
- **Нейровоспаление** усугубляет окислительный стресс, нарушает синаптическую функцию и способствует гибели нейронов.

- **Клеточное старение (сенесценция)** глиальных клеток усиливает нейровоспаление и создает микроокружение, неблагоприятное для выживания нейронов.

Таким образом, старение мозга представляет собой совокупность молекулярных изменений, которые создают благоприятную почву для развития и прогрессирования нейродегенеративных заболеваний. Дегенерация нейронов в специфических областях мозга приводит к характерным клиническим проявлениям: потеря памяти и когнитивные нарушения при БА, двигательные расстройства при БП.

4. Потенциальные терапевтические мишени

Понимание общих молекулярных механизмов, связывающих старение и НДЗ, открывает новые пути для разработки терапевтических стратегий:

- **Антиоксидантная терапия:** Направлена на снижение уровня АФК и усиление собственных антиоксидантных систем организма.
- **Митохондриально-направленная терапия:** Восстановление функции митохондрий, их биогенеза и динамики.
- **Активация аутофагии:** Препараты, стимулирующие аутофагию, могут способствовать очищению клеток от токсичных белковых агрегатов.
- **Противовоспалительная терапия:** Использование препаратов, подавляющих хроническое нейровоспаление, без ущерба для защитных функций иммунной системы.
- **Сенолитики и сеноморфики:** Сенолитики — это препараты, избирательно уничтожающие сенесцентные клетки, а сеноморфики — изменяющие их секреторный фенотип.
- **Модуляция сигнальных путей старения:** Воздействие на ключевые сигнальные пути, такие как mTOR, AMPK, сиртуины, которые регулируют клеточный метаболизм и процессы старения.

5. Заключение

Взаимосвязь между молекулярными механизмами старения и развитием нейродегенеративных заболеваний является одной из наиболее актуальных и сложных проблем современной биомедицины. Накопление окислительных повреждений, митохондриальная дисфункция, нарушение механизмов очистки клеток, хроническое нейровоспаление и клеточное старение создают в мозге условия, которые делают его уязвимым для дегенеративных процессов.

Прогресс в понимании этих механизмов открывает широкие перспективы для разработки инновационных диагностических методов и терапевтических подходов. Целенаправленное воздействие на общие пути старения может не только замедлить прогрессирование НДЗ, но и обеспечить превентивные стратегии, улучшая качество жизни населения в условиях демографического старения.

Дальнейшие междисциплинарные исследования в этой области имеют решающее значение для создания эффективных методов борьбы с этими разрушительными заболеваниями.

Литература

1. Ахмедов Н.Т. Молекулярные механизмы старения мозга и нейродегенеративные заболевания. Нейрохимия. 2022. Т. 39. № 1. С. 68-75.
2. Иванов П.В., Сидорова О.Ю. Роль митохондриальной дисфункции в патогенезе болезни Альцгеймера и Паркинсона. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2023. Т. 123. № 4. С. 85-92.
3. Козлов В.Ю. Аутофагия и старение: влияние на развитие нейродегенеративных процессов. Молекулярная биология. 2021. Т. 55. № 5. С. 780-791.
4. Макаров Д.И., Петрова Е.А. Хроническое нейровоспаление как фактор риска нейродегенеративных заболеваний. Российский неврологический журнал. 2022. № 6. С. 12-18.
5. Смирнова Л.Г. Окислительный стресс в нейродегенерации и старении. Биохимия. 2020. Т. 85. № 8. С. 1150-1162.