

# Лекция 8. Предсказание 3D структуры белков

Курс: Молекулярное моделирование в применении к  
биомолекулам

Головин А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ им М.В. Ломоносова, Факультет Биоинженерии и Биоинформатики

Москва, 2018

# Содержание

Введение

Сравнительное моделирование

Моделирование *Ab initio*

Threading — протягивание нити

Распознавание укладки

Мета серверы

Заключение



# Основные проблемы:

- Монте-Карло: 100 а.к.  $3^N$  степеней свободы, получаем  $10^{48}$  конформаций.
- **Парадокс Левинталя:** "Промежуток времени, за который полипептид приходит к своему скрученному состоянию, на много порядков меньше, чем если бы полипептид просто перебирал все возможные конфигурации".
- Для решения разумно использовать накопленные знания для моделирования.



# Последовательность-структура

## Причины парадокса Левинталя:

- Теоретические модели, не соответствуют тому, что природа старается оптимизировать;
- В ходе эволюции были отобраны только те белки, которые легко сворачиваются;
- белки могут сворачиваться разными путями, не обязательно следуя глобально оптимальному пути.
- Считается, что структура определяется последовательностью, но иногда нужны другие факторы.
- Структура более консервативна чем последовательность



# Сравнительное моделирование

- Зачем искать конформации если можно представить, что при подобии последовательностей подобны и структуры.
- Надо оценить насколько вероятно, что отличие в последовательности может привести изменению способа укладки цепи.
- Надо отфильтровать ошибки полученные при определении структуры.



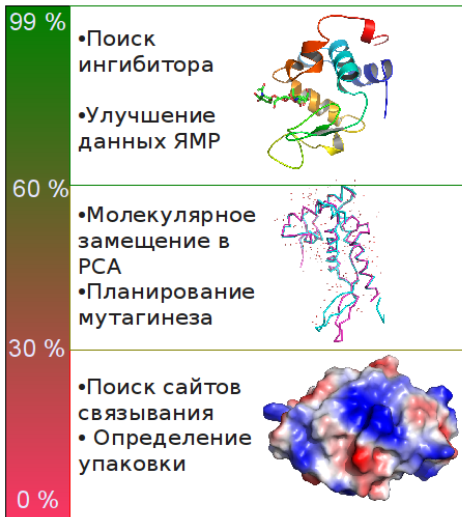
# Известные структуры и последовательности

- Сейчас известно порядка  $10^5$  структур. Примерно 10% это уникальные белки.
- Только 30% из первого пункта имеют разрешение лучше 3.0 ангстрем.
- Примерно 25% известных последовательностей можно использовать для сравнительного моделирования.
- Для 50% последовательностей можно предсказать способ укладки.



# Степень идентичности и сравнительное моделирование

Sali, A. & Kuriyan, J.  
Trends Biochem. Sci. 22,  
M20–M24 (1999)



# Как это реализовать?

- Надо найти белок заготовку с известной структурой.
- Построить первичное выравнивание.
- Улучшить выравнивание.
- Построить ход основной цепи.
- Моделирование петель
- Достроить/моделировать положение боковых радикалов
- Проверка модели





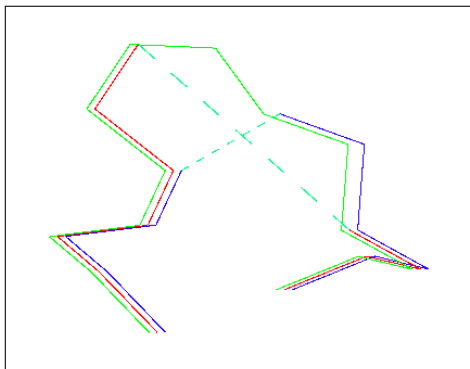
# Поиск белка заготовки

- Поиск по PDB с помощью:
  - Blast
  - Psi-Blast
  - Методов распознавания упаковки
- Используя биологическую информацию.
- Функциональное аннотирование в базах данных.
- Используя информацию об активных сайтах, или мотивы.



# Улучшение выравнивания

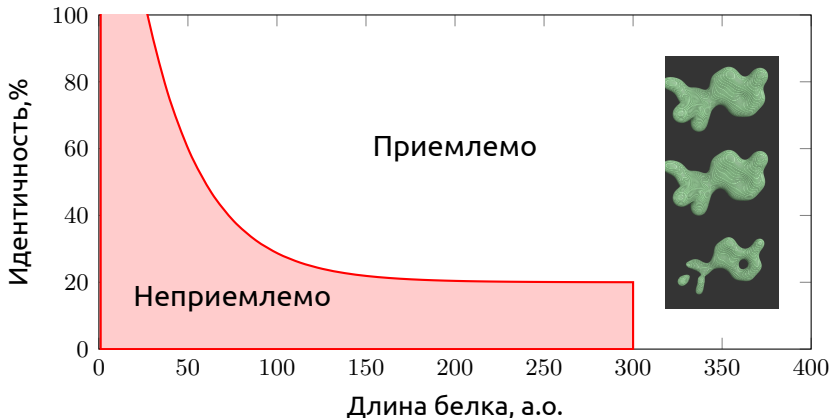
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PHE	ASP	ILE	CYS	ARG	LEU	PRO	GLY	SER	ALA	GLU	ALA	VAL	CYS
PHE	ASN	VAL	CYS	ARG	THR	PRO	---	---	---	GLU	ALA	ILE	CYS
PHE	ASN	VAL	CYS	ARG	---	---	---	THR	PRO	GLU	ALA	ILE	CYS



Из книги "Professional Gambling" от Gert Vriend

# Качество белка заготовки

- Выбор качественного белка заготовки очень важен.
- Лучший вариант не обязательно обладает лучшей степенью идентичности.
  - Белок 1: ID 93%, 3.5 ангстрема разрешение. Хуже.
  - Белок 2: ID 90%, 1.5 ангстрема разрешение. Лучше!

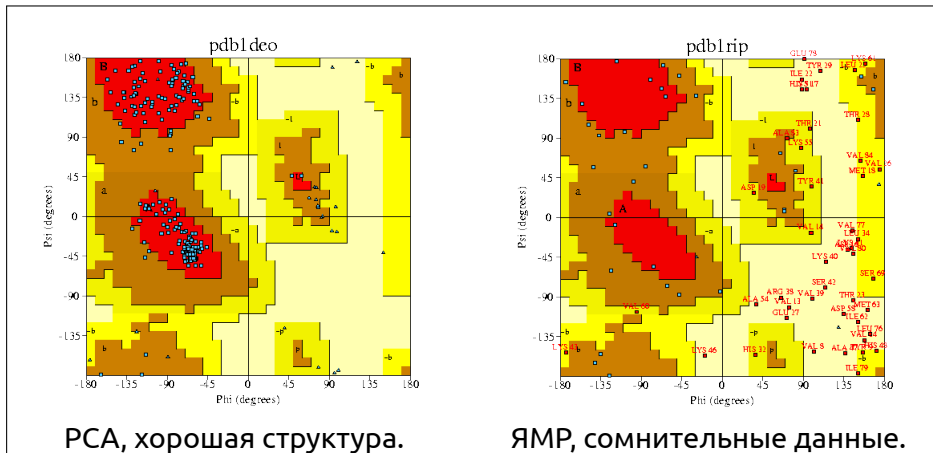


# Если структура белка заготовки получена ЯМР

- Определимся какие области определены лучше.
- Соотнесём с выравниванием.
- Если низкая гомология выпадает на “подвижные” области, то структура подходит.



# Качество заготовки, Рамачандран



# Построение остова

- Генерируем координаты остова моделируемого белка для остатков из выравненных областей.
- Не обязательно использовать координаты, могут подойти дистанционные ограничения.
- Большинство исследователей предпочитают Modeller. Modeller использует дистанционные ограничения.



# Моделирование петель

- Эмпирическое моделирование:
  - Поиск подходящего фрагмента по PDB
  - Использовать базы данных (LIP, etc..)
- Молекулярная механика.
- Монте-Карло.
- Rosseta:
  - Поиск фрагментов близких по последовательности.
  - Комбинирование результатов поиска с помощью Монте-Карло.

Комбинации выше перечисленных.



# Моделирование боковых радикалов

- Если идентичность последовательностей высока то можно ожидать высокую консервативность третичных контактов.
- Если анализ показывает, что важные контакты консервативны то:

**Лучше оставить конформацию боковых радикалов из заготовки чем моделировать.**





# Моделирование боковых радикалов

- Конформация боковых радикалов зависит от конформации основной цепи.
- Существуют базы данных ротамеров.
- Некоторые исследователи считают, что SCWRL метод самый удачный.

Это эмпирический метод на основе теории графов.

<http://dunbrack.fccc.edu/SCWRL3.php>



# Точность моделирования боковых радикалов

- Высокая точность моделирования достигается для боковых радикалов внутри глобулы.
  - Причина: в экспериментах остатки на поверхности более подвижны.
  - Вычислительное проще упаковать гидрофобные остатки, чем учесть полярные контакты и водородные связи с водой или с участием воды.



# Улучшение модели

- Методы минимизации энергии.
- Моделирование молекулярной динамики (оптимизация гидрофобики)
- Моделирование Монте-Карло.
- Любой известный подход для оптимизации структуры.



# Ошибки

- Обычно ошибки не исправляются на последующих этапах моделирования.
  - Хорошее выравнивание не исправит плохой выбор белка заготовки.
  - Хорошее моделирование петель не исправит плохое выравнивание.
- При обнаружении ошибки необходимо повторять некоторые этапы.



# Проверка

- Большинство программ для моделирования по гомологии выдают правильные значения для связей и валентных углов.
- Карта Рамачандрана в большинстве случаев для модели выглядит также, как для белка заготовки
- Проверка на ориентацию или положение заряженных остатков может быть полезна.
- Использование любых экспериментальных данных:
  - Остатки активного центра.
  - Места модификаций.
  - Места контактов.

ProQ сервер оптимизирован на поиск правильной модели а не нативной структуры.



# Ресурсы для гомологичного моделирования

- Modeller
- SwissModel
- Eva-CM
- Nest И т.д.



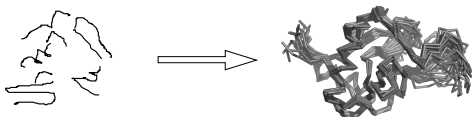
# Предсказание структуры белка *Ab initio*

- Теоретически можно использовать молекулярную динамику.
- Моделирование отжига, как в МД так и в Монте-Карло.
- На основе фрагментов, Rosseta



## *Ab initio*, Rosseta

- Метод использует информацию о предсказании вторичной структуры
- Сравниваем фрагменты от 3 до 9 остатков с библиотекой известных структур. Строим эти фрагменты.
- Соединяем эти фрагменты и используем Монте-Карло для оптимизации третичной структуры.





# Ab initio, Rosseta

- Для определения хорошей конформации использую специальные потенциалы, которые делают модель похожей на нативную
- Что можно использовать:
  - Потенциалы для третичных контактов
  - Гидрофобные потенциалы
  - Потенциал для уменьшения радиуса вращения молекулы
  - Водородные связи и т.д.

Можно добавить знание об дисульфидных мостиках, местах связывания катионов металлов и т.д.

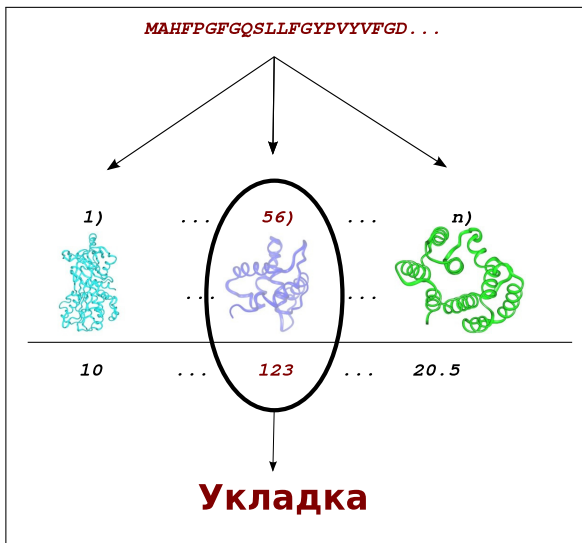


# Threading — протягивание нити

- Сравниваем последовательность со всеми известными способами укладки.
- Используем потенциалы для определения тенденций в известных способах укладки.
  - Каждую аминокислоту из модели помещаем в позиции белков разных укладок
  - Определяем как хорошо эта аминокислота подходит белку заготовке на основе парных взаимодействий
  - На основе суммарного результата определяем белок заготовку.



# Threading — протягивание нити



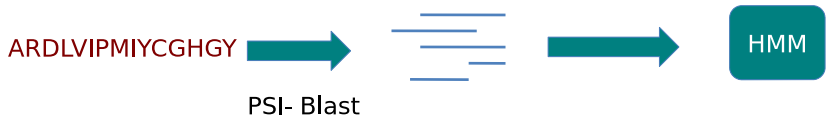
# Threading — недостатки

- Взаимодействия в белке не всегда описываются парными контактами.
- Потенциалы часто основываются на профилях последовательностей.

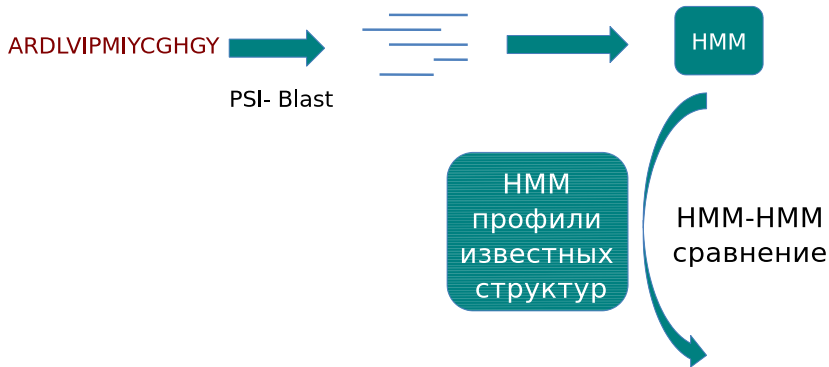
Есть гибридные методы Rosseta/Threading: I-Tasser



# Распознавание укладки, Phyge2



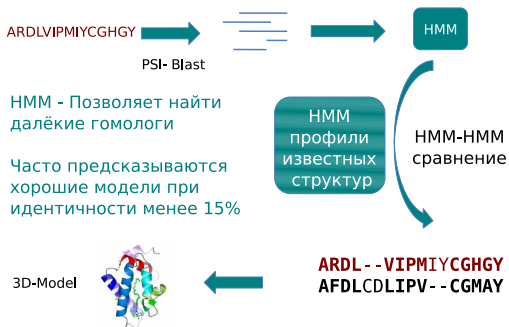
# Phyre2



**ARDL - -VIPMIYCGHGY**  
**AFDLCDLIPV - -CGMAY**



## Phyre2



# Мета серверы

- Сравнение разных методов.
- Большинство методов предсказывают правильную укладку в первых 10-20 результатах.
- Удаление структур с высоким значением параметров модели, но с единственной укладкой.
- Суперпозиция результатов, взвешивание.
- Часто выдают только позиции атомов остова.





# Заключение

- Суть современного моделирования белков - эмпирическая
- Чем больше известной информации используется при моделировании тем точнее модель.
- Каждый метод имеет недостатки.
- Критический анализ модели позволяет выявить ошибки и улучшить модель.

