

Московский физико-технический институт  
Факультет биологической и медицинской физики  
Кафедра молекулярной и трансляционной медицины

**Исследование влияния антимикробных  
пептидов пиявки *Hirudo medicinalis* на  
нейтрофилы человека**  
(бакалаврская работа, 2018-2019 учебный год)

Студент: Меняйло Е.А.

Научный руководитель: Панасенко О. М., д-р биол.наук,  
проф.

Консультант: Вахрушева Т.В., канд. биол. наук, с.н.с.

Работа выполнена в лаборатории физико-химических  
методов исследований и анализа ФНКЦ ФХМ ФМБА  
России

Москва,  
2019

## Актуальность и обоснование работы

В связи с развитием резистентности микроорганизмов к традиционным антибиотикам необходимы новые антимикробные препараты. Перспективными в этом отношении считаются катионные антимикробные пептиды (АМП), к которым, как правило, не развивается резистентность.

К АМП пиявки как потенциальному лекарству имеется особый интерес. Поскольку пиявка как кровососущий организм, использующий теплокровных животных, включая человека, эволюционировала одновременно с ними и синтезировала соответствующие АМП для своей защиты, то можно полагать, что её АМП могут быть полезны для медицинских целей борьбы с бактериальными инфекциями человека.

Поскольку в очаге инфекции АМП будут соседствовать с нейтрофилами, то необходимо в тестирование АМП как потенциального лекарства включить исследование их взаимодействия с нейтрофилами.

## Катионные АМП, использованные в работе

Пептиды были синтезированы на основе биоинформатического анализа генома пиявки *Hirudo medicinalis* в лаб. генной инженерии (зав. лаб. докт. биол. наук, проф. В.Н. Лазарев) ФНКЦ ФХМ ФМБА России.

Код	Аминокислотная последовательность	Длина	Заряд	МИК, мкМ
3967_1	Phe-Arg-Ile-Met-Arg-Ile-Leu-Arg-Val-Leu-Lys	11	+4	10
12530	Lys-Phe-Lys-Lys-Val-Ile-Trp-Lys-Ser-Phe-Leu	11	+4	90
536_1	Arg-Trp-Arg-Leu-Val-Cys-Phe-Leu-Cys-Arg-Arg-Lys-Lys-Val	14	+6	17

# Цели и задачи исследования

## Цель

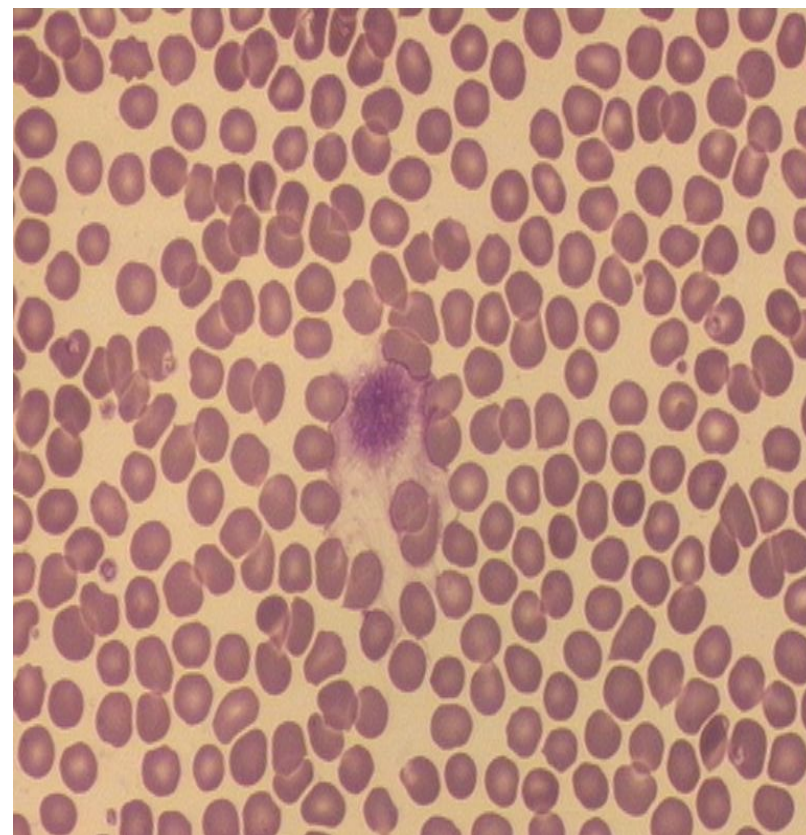
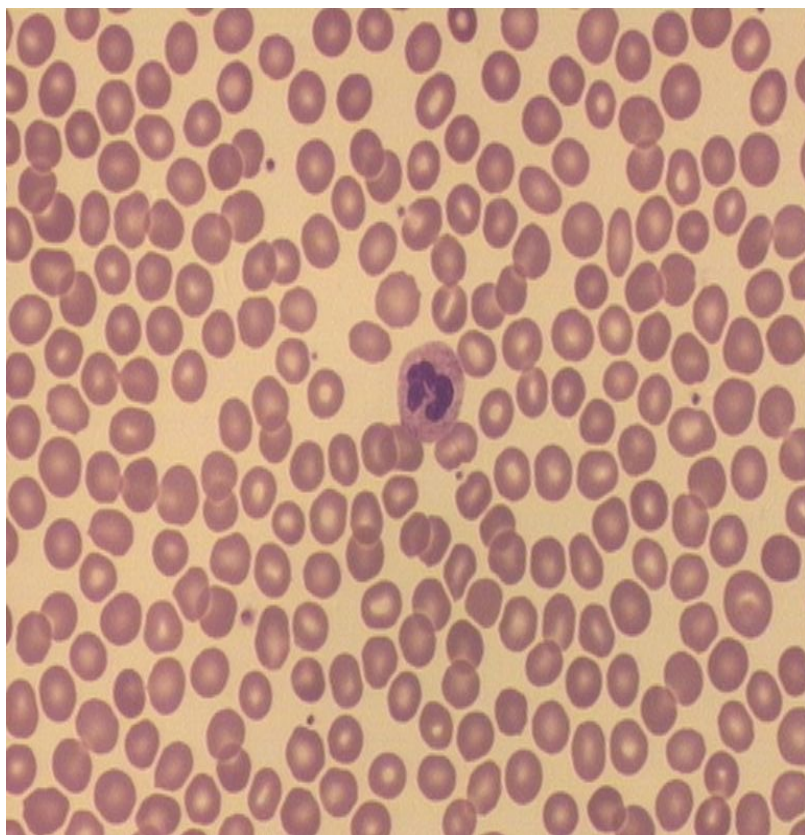
Исследование взаимодействия между пептидами и нейтрофилами на трех уровнях:

- Целая клетка
- Миелопероксидаза (МПО), секретируемая активированными нейтрофилами
- $\text{HOCl}$  – хлорноватистая кислота, образующаяся в организме в результате хлорирующей активности МПО при катализе реакции  $\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HOCl} + \text{H}_2\text{O}$

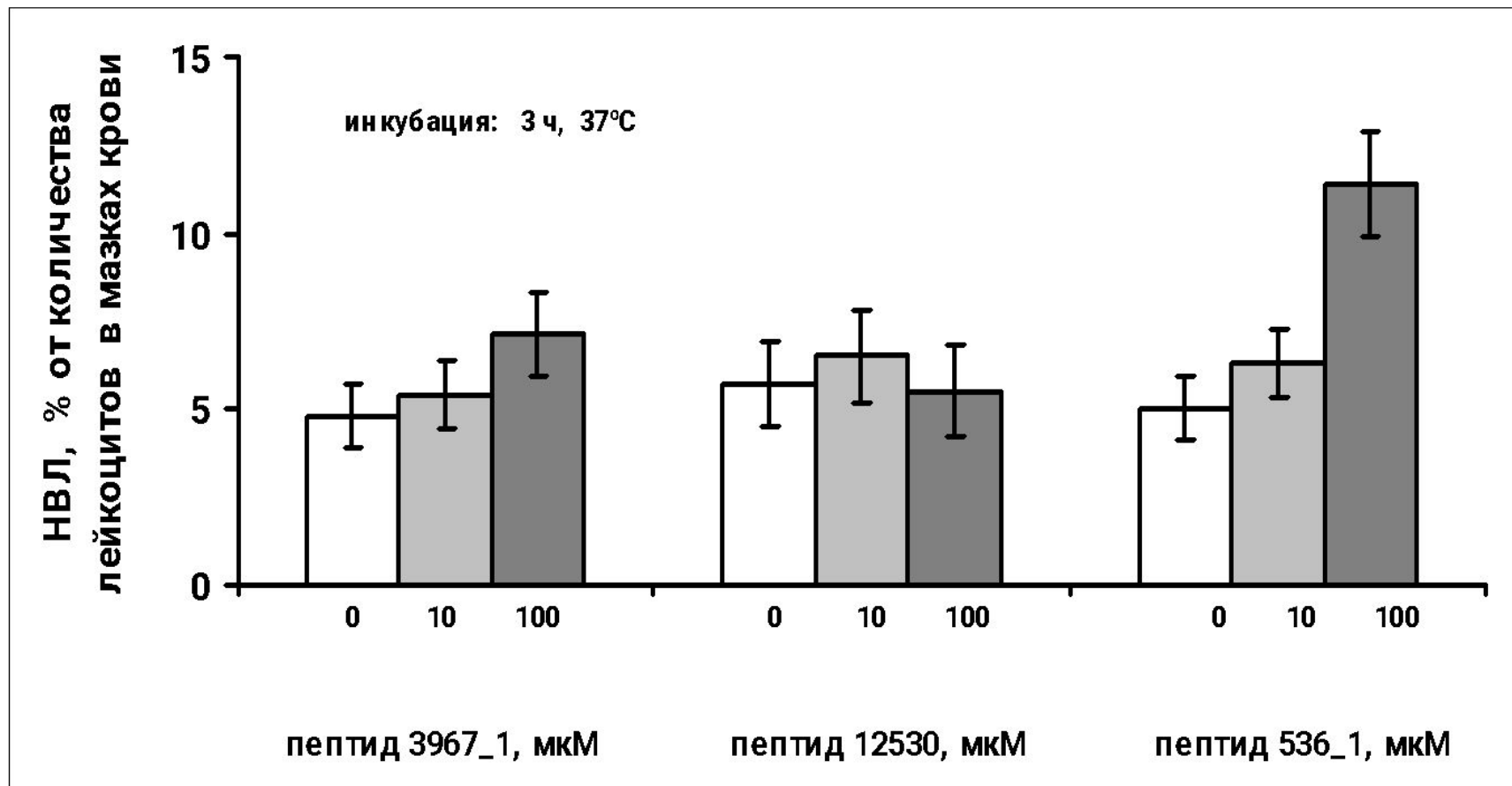
## Конкретные задачи

- Влияние пептидов на образование нейтрофильных внеклеточных ловушек (в цельной крови) и на жизнеспособность нейтрофилов (изолированные клетки)
- Влияние пептидов на хлорирующую активность МПО
- Влияние  $\text{HOCl}$  на структуру пептидов

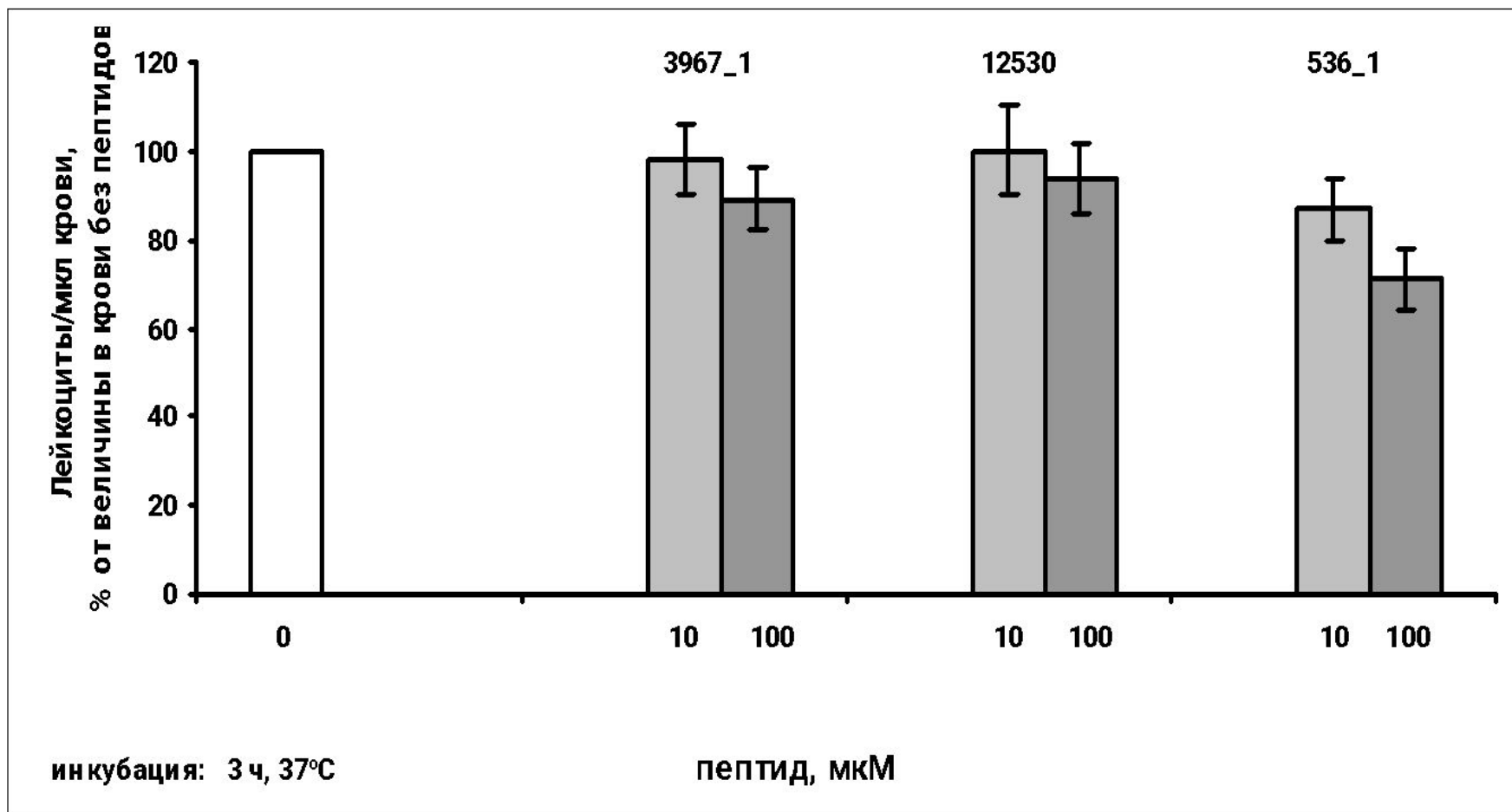
Нейтрофил (слева) и нейтрофильная внеклеточная ловушка (справа) на фотографиях мазков крови



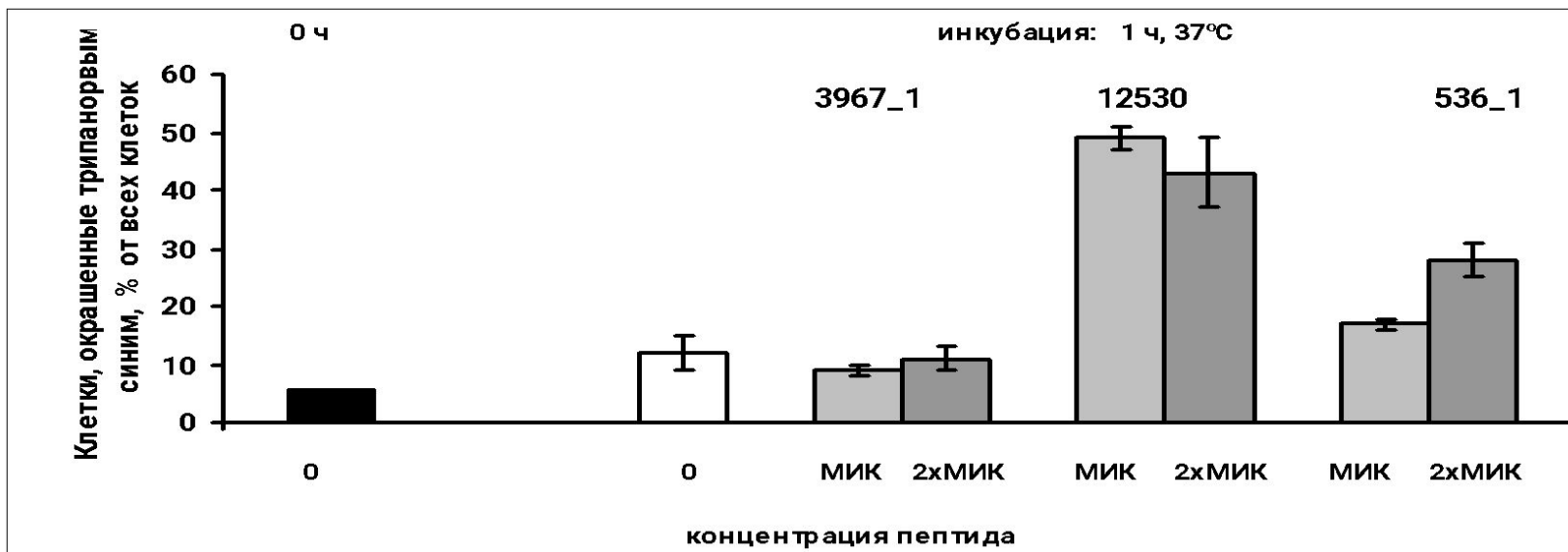
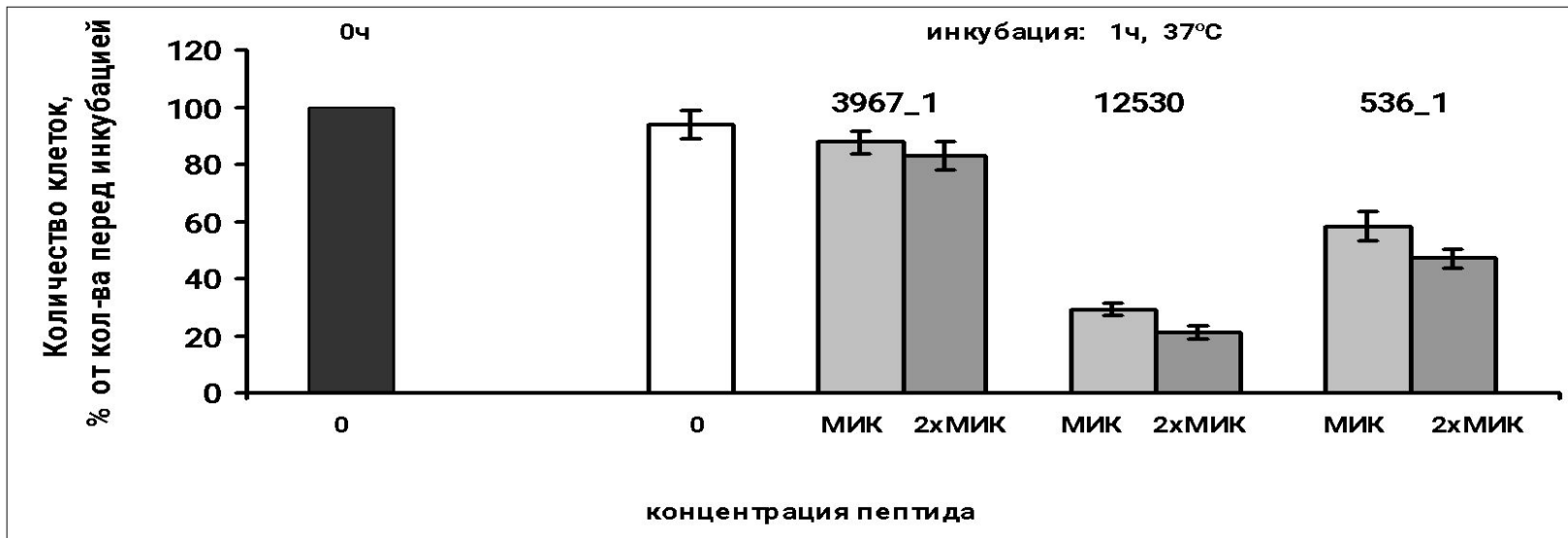
# Пептид 536\_1 в цельной крови усиливает образование нейтрофильных внеклеточных ловушек (НВЛ)



# Пептид 536\_1 в цельной крови вызывает уменьшение числа лейкоцитов



# Влияние пептидов на жизнеспособность нейтрофилов (в суспензии изолированных нейтрофилов)





# Оценка хлорирующей активности МПО

Метод taurine chloramine assay [Kettle, 1994]. Метод основан на реакции  $\text{HOCl}$  с таурином с образованием хлорамина таурина, который затем измеряется по реакции с тионитробензойной кислотой, которая в результате теряет поглощение (412 нм).

Как и другие методы измерения  $\text{HOCl}$ , продуцированной МПО, этот метод имеет ограничения, связанные с присутствием в среде веществ, способных перехватывать  $\text{HOCl}$  у таурина (константа скорости реакции таурина с  $\text{HOCl}$   $k = 5,0 \times 10^5 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  при нейтральном pH).

В исследуемых пептидах есть аминокислотные остатки, быстро реагирующие с  $\text{HOCl}$ .

Константы скорости реакции (нейтральный pH):

Cys  $3,6 \times 10^8 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Met  $3,4 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Trp  $7,8 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Lys  $7,9 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$

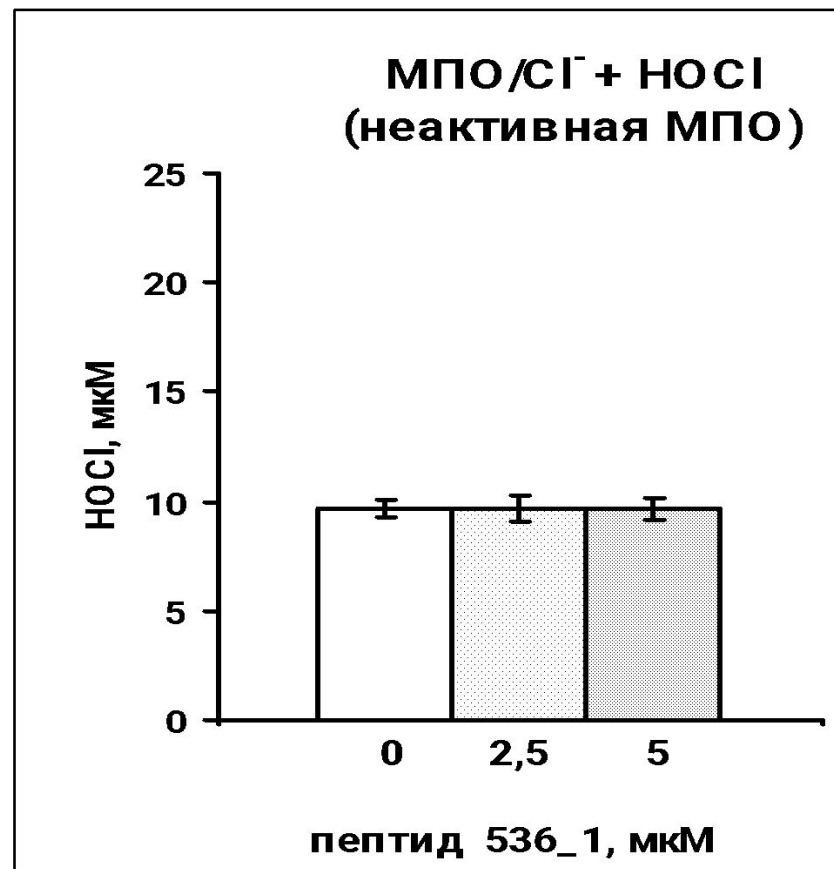
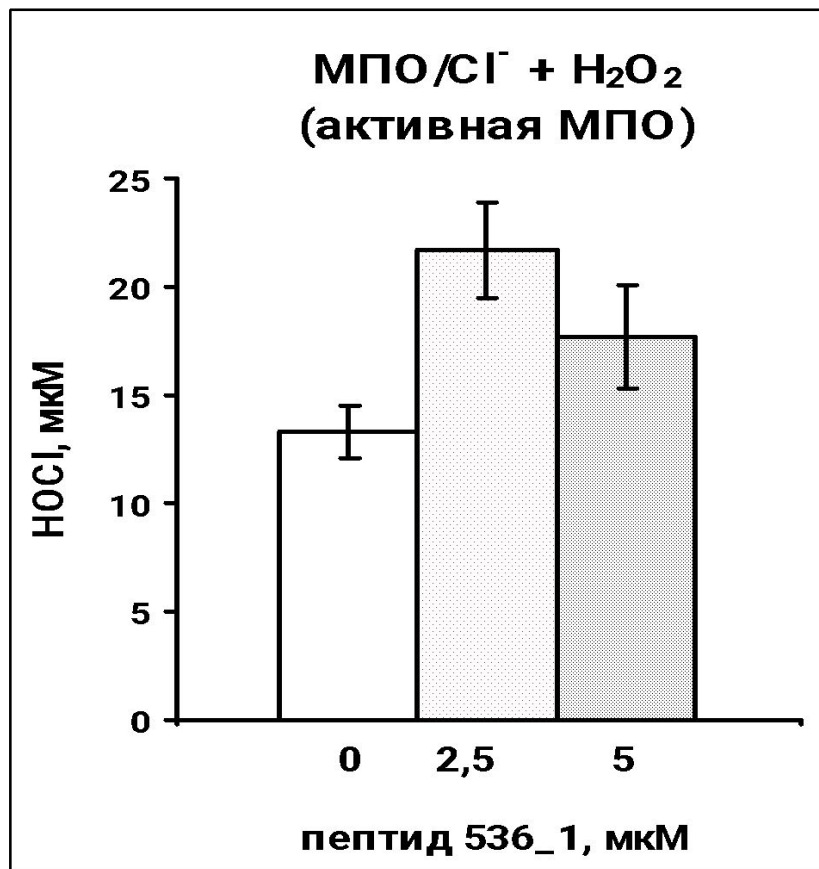
Наши контрольные эксперименты по измерению  $\text{HOCl}$ , добавленной в виде реагента (вместо МПО/ $\text{H}_2\text{O}_2$ ) показали, что пептиды до концентрации примерно 5 мкМ не “мешают” измерять концентрацию  $\text{HOCl}$  в присутствии 40 мМ таурина.

# Влияние пептидов на хлорирующую активность МПО

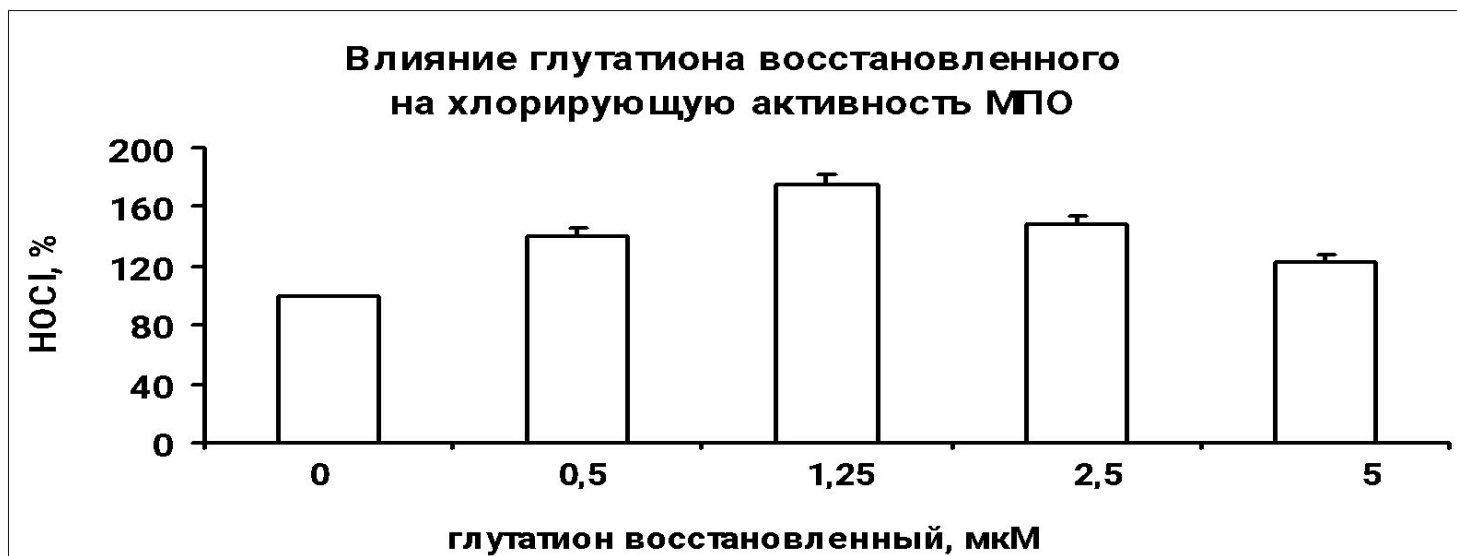
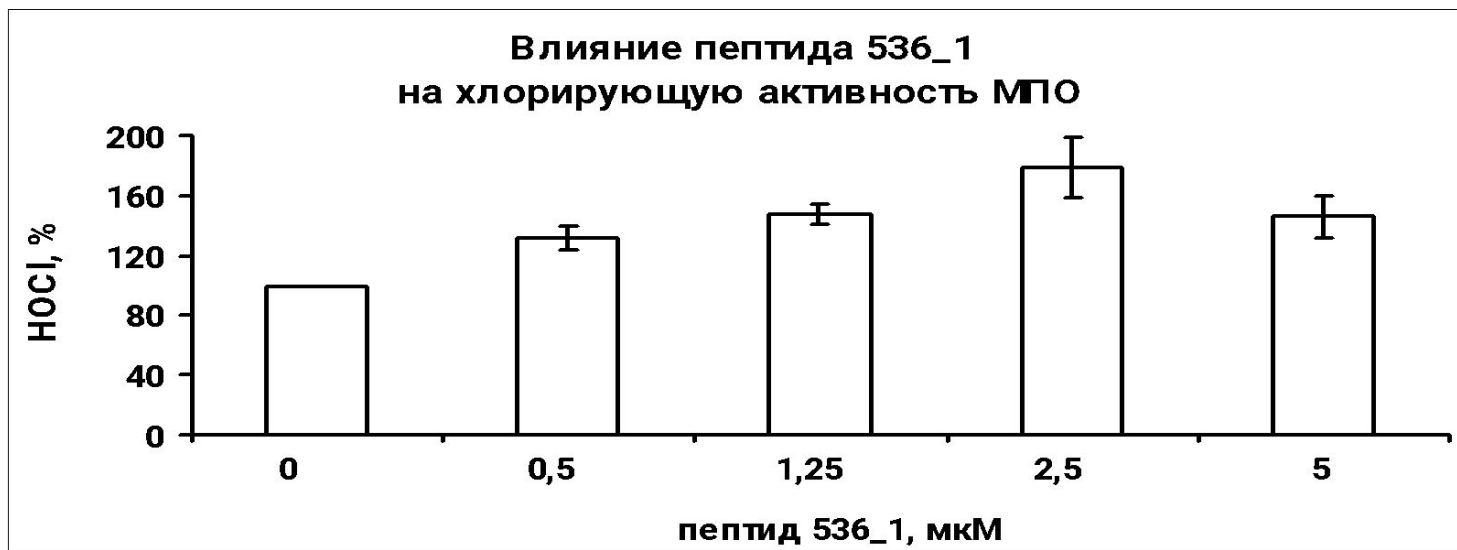
Концентрация пептида	Пептид 3967_1	Пептид 12530	Пептид 536_1
0 мкМ	100%	100%	100%
0,5 мкМ	100%	100%	132 ± 8%
1 мкМ	100%	100%	148 ± 7%
2,5 мкМ	110 ± 3%	109 ± 4%	179 ± 20%
5 мкМ	108 ± 7%	118 ± 8%	146 ± 14%

Измерялось количество  $\text{HOCl}$ , образовавшееся в первые 2,25 мин после добавления 25 мкМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  к 3,5 нМ МПО и 140 мМ  $\text{Cl}^-$ . В отсутствие пептидов МПО за это время утилизировала примерно половину добавленного  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Регистрация повышенного количества  $\text{HOCl}$  в среде, содержащей систему  $\text{MPO}/\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{O}_2$  в присутствии пептида 536\_1, связана именно с  $\text{HOCl}$ , образующейся в результате функционирования МПО



# Сравнение влияния пептида 536\_1 и глутатиона восстановленного на хлорирующую активность МПО



## Влияние пептидов на пероксидазную активность МПО

Влияния не было обнаружено. Пероксидазная активность МПО измерялась с использованием *o*-дианизидина в качестве субстрата по кинетике поглощения окисленного *o*-дианизидина при 650 нм.

## Возможный механизм “активирующего” действия пептида 536\_1 на хлорирующую активность МПО

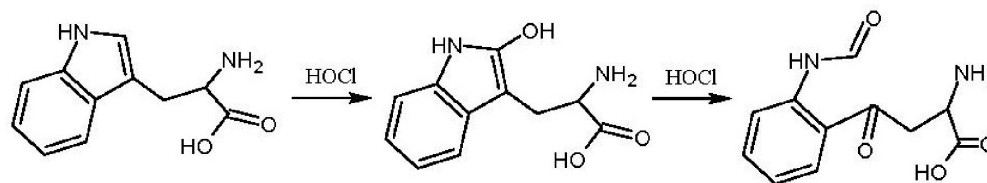
НОСІ может прореагировать с молекулой МПО, вызывая инактивацию. Вещества, способные к реакции с НОСІ, могут, перехватывая НОСІ, “спасать” МПО от этой самоинактивации. Такая роль есть у таурина в методах измерения хлорирующей активности. Возможно, тиоловая группа цистеина, скорость реакции которой с НОСІ на три порядка выше, чем у таурина, настолько эффективно перехватывает НОСІ, что может дополнительно существенно предохранить МПО от модификации и самоинактивации, что проявляется в ускорении продукции НОСІ в растворе МПО.

## MALDI-масс-спектрометрия

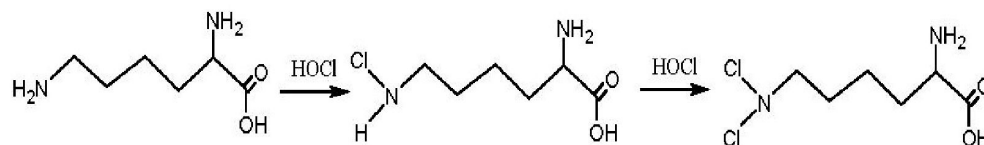
Если предполагать использование АМП в качестве медицинского препарата, то следует учитывать, что вследствие наличия в них определенных аминокислот они в очаге инфекции окажутся мишенями для НОСІ, генерируемой активированными нейтрофилами. В связи с этим была поставлена задача определить изменения в структуре пептидов под воздействием НОСІ и получить сравнительную оценку их устойчивости к НОСІ. Для решения этой задачи был использован метод MALDI-масс-спектрометрии.

Образцы готовили, инкубируя пептиды (5 мкМ) с возрастающими концентрациями НОСІ. Мольное отношение НОСІ:пептид было от 1:1 до 50:1. При этом наибольшее мольное отношение НОСІ:реакц.группы составило 10:1.

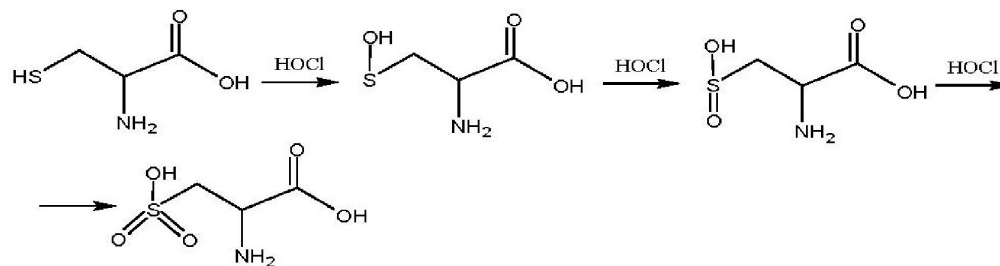
Триптоф  
ан



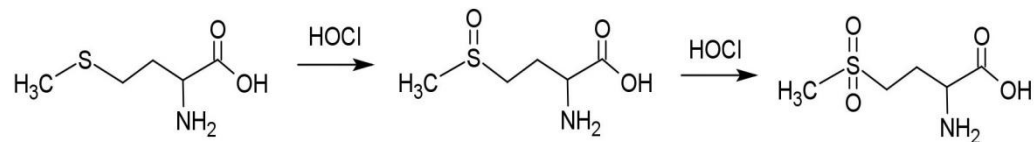
Лизи  
н



Цистеи  
н



Метиони  
н



**Продукты реакций пептидов с HOCl,  
идентифицированные в спектрах MALDI**

<b>пептид 3967_1 (1 Met u 1 Lys)</b>		<b>пептид 12530 (1 Trp u 4 Lys)</b>		<b>пептид 536_1 (2 Cys, 1 Trp u 2 Lys)</b>	
<b>m/z</b>		<b>m/z</b>		<b>m/z</b>	
1445.095	нативный пептид [M]	1423.051	нативный пептид [M]	1860.432	нативный пептид [M]
1467.040	нативный пептид [M + Na]	1444.902	нативный пептид [M + Na]		
1461.058	[M + O]	1439.077	[M + O]	1876.084	[M + O]
1483.002	[M + Na + O]	1461.055	[M + Na + O]	1891.085	[M + 2O]
1477.009	[M + 2O]	1455.175	[M + 2O]	1908.021	[M + 3O]
1499.006	[M + Na + 2O]	1476.976	[M + Na + 2O]	1924.173	[M + 4O]
1494.960	[M + O + Cl - H]	1472.943	[M + O + Cl - H]	1940.164	[M + 5O]
1510.948	[M + 2O + Cl - H]	1506.926	[M + O + 2Cl - 2H]	1956.226	[M + 6O]
		1575.000	[M + O + 4Cl - 4H]	1971.624	[M + 7O]
		1591.064	[M + 2O + 4Cl - 4H]	1988.090	[M + 8O]

По мере увеличения концентрации HOCl пик нативного пептида уменьшался до полного исчезновения. Однако в случае пептидов 3967\_1 и 12530 еще сохранялась целостность полипептидной цепи. Пептид 536\_1 оказался наименее стойким к воздействию HOCl: при HOCl:пептид = 5:1 (моль/моль) происходило разрушение полипептидной цепи на фрагменты.



## Выводы

1. В цельной крови пептид 536\_1 усиливал образование нейтрофильных внеклеточных ловушек и вызывал уменьшение числа лейкоцитов. Пептиды 3967\_1 и 12530 не проявили достоверного эффекта.
2. В суспензии изолированных нейтрофилов пептиды 12530 и 536\_1 при концентрациях равной их МИК вызывали уменьшение числа живых клеток (на 70% и 30%, соответственно, через 1 ч инкубации при 37°C). Количество живых клеток после инкубации с пептидом 3967\_1 не отличалось достоверно от их количества в контроле.
3. В присутствии пептида 536\_1 возрастала скорость продукции НОСІ миелопероксидазой.
4. В пептидах, обработанных НОСІ, происходило образование продуктов оксигенирования и хлорирования. Пептид 536\_1 оказался наименее устойчивым к НОСІ, распадаясь на фрагменты, тогда как пептиды 396\_1 и 12530 при аналогичном мольном отношении НОСІ/пептид сохраняли полипептидную цепь целой.

Результаты позволяют предложить пептид 3967\_1 как более подходящий по сравнению с пептидами 12530 и 536\_1 для дальнейшего усовершенствования структуры, повышающего её устойчивость в условиях активации нейтрофилов и уменьшающего негативное влияние на эти клетки.

Результаты работы были представлены на 3-ем Сеченовском Международном Биомедицинском Саммите: E.A. Menyaylo *et al.* Novel cationic antimicrobial peptides of *Hirudo medicinalis* and their initial evaluation as potential medicinal agents. 3rd Sechenov International Biomedical Summit (SIBS 2019). May 20-21, 2019. Sechenov University, Moscow, Russia. P-30.

Тезисы будут опубликованы в открытом электронном журнале Biomedicine HUB.

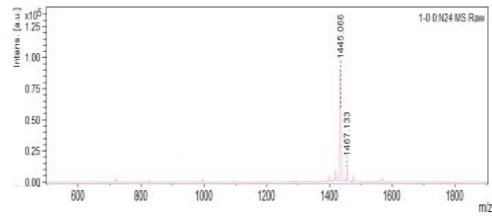
## Благодарности

Сотрудникам лаборатории физико–химических методов исследования и анализа,

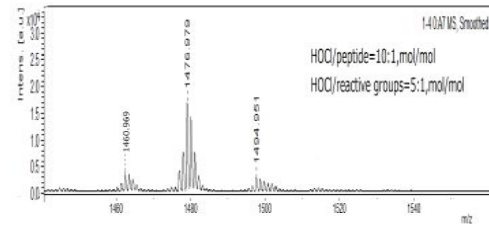
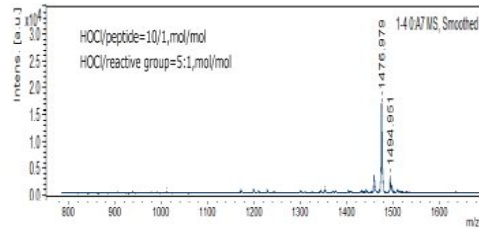
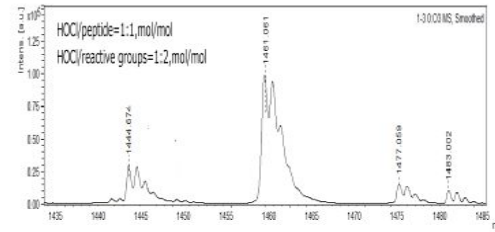
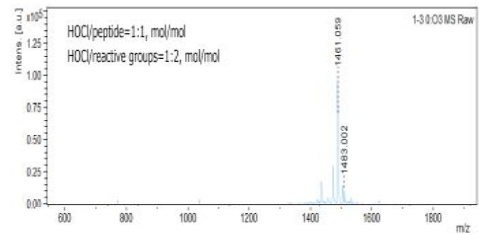
Д. С. Матюшкиной (лаб. простых систем) за помощь в проведении MALDI,

С. А. Гусеву и Л. Ю. Басыревой (лаб. морфологии) за обучение методике измерения нейтрофильных внеклеточных ловушек в крови

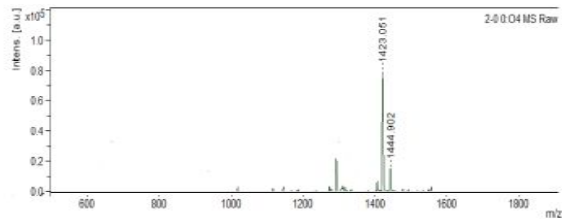
## MALDI spectra of peptide P1 before and after treatment with HOCl



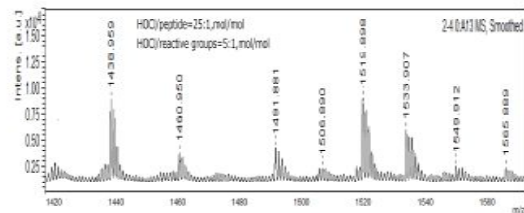
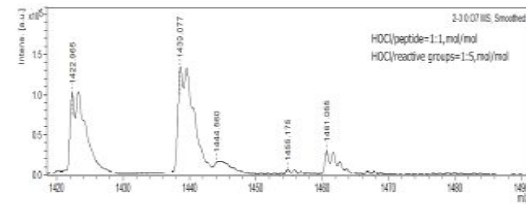
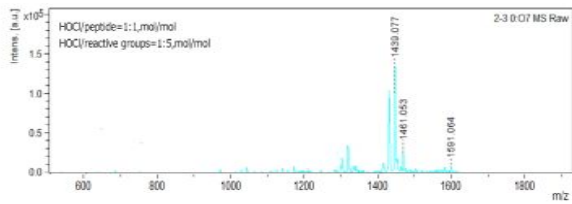
m/z: 1445,055-native peptide; 1467,133 -  
 [+Na]; 1461,059-[+O]; 1483,002-[+Na+O];  
 1476,979-[+2O]; 1494,951-[+O+Cl].



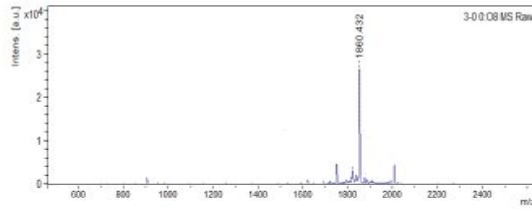
## MALDI spectra of peptide P2 before and after treatment with HOCl



m/z: 1423,051-native peptide;  
 1444,902-[+Na]; 1439,077-[+O];  
 1591,064-[+4Cl+2O]; 1455,175-[+  
 2O]; 1461,055-[+Na+O]; 1506,926-  
 [+O+2Cl].



## MALDI spectra of peptide P3 before and after treatment with HOCl



m/z: 1860,432- native peptide;  
 1956,226-[+60];1876,084-[+0];  
 1891,085-[+20];1908,021-[+30];  
 1924,173-[+40];1940,164-[+50];  
 1957,045-[+60];1971,624-[+70].

