

Экспериментальная проверка эффективности марлевых масок

07.12.2020

Перевод статьи W. H. Kellogg and G. MacMillan “An experimental study of the efficacy of gauze face masks”, American Journal of Public Health, 1920, 10(1):34–42.¹ Единицы расстояния: 1 фут равен 12 дюймам (примерно 30 см), 1 дюйм — 2,54 см. Единица давления 1 фунт (фунт-сила на квадратный дюйм) примерно равна 6894,76 Па. Примечания переводчика — [в квадратных скобках].

Эффективность масок оказалась недостаточной для обоснования их обязательного применения в борьбе с эпидемиями, таковы выводы доктора Келлогга, который провёл кропотливое исследование с марлями. Это научное по своей природе исследование, не упускающее ни одного существенного фактора, должно разрешить горячо обсуждаемый вопрос массового ношения масок.

Прошедшая эпидемия гриппа вынудила обратить внимание на использование марлевых масок как средства защиты от заражения. Предположение о воздушно-капельном распространения гриппа подсказало многим идею ношения лицевых масок для борьбы с распространением инфекции, соответствующие меры были приняты во многих городах и посёлках, главным образом в Калифорнии. К сожалению, для рационального обоснования таких мер не многое было известно о характеристиках марлевых масок, которым те должны удовлетворять, хотя в течение 1918 года вышло четыре или пять статей, посвященных защитным эффектам масок. Одна из них описывала снижение числа заражений среди медицинских сестёр больницы Дюранд [Чикаго, штат Иллинойс] при использовании двухслойных марлевых масок (качество не указано) — Weaver G. H. “The value of the face mask and other measures in prevention of diphtheria, meningitis, pneumonia, etc.” («Значение масок и прочих мер в борьбе с дифтерией, менингитом, пневмонией и другими»), JAMA, 1918, 70(2):76–78.² Заболеваемость скарлатиной и бессимптомной дифтерией заметно снизилась, но ре-

зультаты в некоторой степени обесценены тем, что эксперимент не был контролируемым; сравнивались два периода, в одном носили маски, а в другом — нет. В лагере Кэмп Грант [штат Иллинойс] маски применялись для предотвращения инфекции в полевых госпиталях и среди пациентов, когда они временно покидали свой бокс — Capps J. A. “A new adaptation of the face mask in control of contagious disease” («Новое применение лицевой маски в борьбе с заразными болезнями»), JAMA, 1918, 70(13):910–911.³ В статье не упоминается ни качество масок, ни количество слоёв марли, нет иллюстраций или конкретных сравнений. Автор лишь заключает, что после начала применения масок не было случаев скарлатины, а до этого было шесть. Несколько бактериологических экспериментов были проведены для определения защитных свойств различных типов марли и числа слоёв — Haller D. A., Caldwell R. C. “The protective qualities of the gauze face mask: experimental studies” («Защитные свойства марлевых масок: экспериментальные исследования»), JAMA, 1918, 71(15):1213–1215.⁴ Авторы обнаружили, что для предотвращения посева колоний на чашу с агаром при каш-

¹ <https://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.10.1.34>

² <https://sci-hub.ru/10.1001/jama.1918.02600020010005>

³ <https://sci-hub.ru/10.1001/jama.1918.26010130001009>

⁴ <https://sci-hub.ru/10.1001/jama.1918.26020410008008a>

ле необходимы 300 прядей на дюйм (сумма продольных и поперечных волокон, умноженная на число слоёв), когда маска закрывала рот кашляющего, и 220 прядей — если маска закрывала чашу. Они не привели подробных таблиц и не учитывали рассеяние с краёв маски или вдыхание воздушно-капельной смеси через марлю. Несколько экспериментов были проведены с использованием *Bacillus prodigiosus* [бактерия *Serratia marcescens*, «Чудесная палочка»] во рту кашляющего — Doust B. C., Lyon A. B. “Face masks in infections of the respiratory tract” («Роль лицевых масок в респираторных инфекциях»), JAMA, 1918, 71(15):1216–1219.¹ Было обнаружено, что колонии бактерий легко проходили через 10 слоёв крупной и средней марли, но не через 3 слоя мелкой. Эти результаты противоречат предыдущей работе, где семи слоёв средней марли было достаточно. О защите масками самих чаш не сообщалось.

Если мы признаём грипп воздушно-капельной инфекцией, то, казалось бы, ношение масок является надёжно обоснованной мерой, которая должна была иметь результаты.

Исследования, проведённые департаментом статистики болезней министерства здравоохранения штата Калифорния, не показали никакого влияния масок на распространение гриппа в тех городах, где ношение масок было обязательным, и потому министерство было вынуждено взять курс на поощрение ношения масок, но не на принуждение к нему. Маски были обязательными только при определённых обстоятельствах при известных контактах с болезнью, а носить или не носить маски поголовно отдельные сообщества могли решать самостоятельно.

Причина очевидной неудачи с масками стала предметом спекуляций среди эпидемиологов, поскольку многие из нас долгое время верили, что воздушно-капельные

инфекции можно легко контролировать с их помощью. Эта неудача вызвала разочарование, так как за первым экспериментом в Сан-Франциско наблюдали с интересом и надеждой, что в случае обоснования необходимости ношения масок, желаемый результат был бы достигнут. Всё оказалось иначе. Вопреки ожиданиям, маски использовались широко и охотно, но также вопреки ожиданиям, никакого влияния на эпидемическую кривую замечено не было. Что-то определённо было неправильным в наших предположениях.

Мы были склонны объяснять неудачу ошибками в использовании масок, а не каким-либо фундаментальным просчётом в теории. Соответственно, 31-й выпуск Бюллетеня министерства здравоохранения обращал внимание на определённые сложности, возникшие там, где ставка на победу над гриппом делалась на обязательное ношение масок. [см. Kellogg W. H. “Influenza, a study of measures adopted for the control of the epidemic” («Анализ мер борьбы с эпидемией гриппа²»), Sacramento, California State Printing Office, 1919³]. Эти сложности включали:

Во-первых, использование большого количества неправильно сделанных масок.

Во-вторых, небрежное ношение масок, в том числе ношение слишком маленьких масок, закрывающих только нос или только рот, курение при ношении масок и прочее.

В-третьих, неуместное ношение масок. Там где ношение было обязательным, оно имело место на публике, на улицах, в трамваях, и других местах, где в маске не было необходимости, но где за её отсутствие мог последовать арест. Маска откладывалась в сторону как только человек пропадал из поля зрения полиции, например в частных офисах или на всевозможных небольших собраниях. Обычное общение между друзьями или коллегами на таких встречах создаёт благопри-

¹ <https://sci-hub.ru/10.1001/jama.1918.26020410011008c>

³ <https://hdl.handle.net/2027/uc1.31378008030317>

² <https://pashev.ru/posts/kellogg-1919>

ятные условия для передачи вируса. Если вирус передаётся воздушно-капельным путём, то собрания, где люди разговаривают друг с другом, безусловно должны быть более опасными, чем скопления незнакомцев пусть даже в таких местах, как церкви или театры. Однако такие, казалось бы, исчерпывающие объяснения не удовлетворили нас. Мы сочли необходимым если не списывать маски со счетов окончательно, то получить более подробные сведения об особенностях их использования и недостатках. Если марлевые маски действительно полезны как защита против определённых инфекций, было бы досадно, если бы их бесконтрольное использование во время гриппа настроило против них критические и научные умы. Наличие такой опасности подтверждается многочисленными письмами, полученными от видных санитарных работников со всей страны. Таким образом, было решено провести серию экспериментов, чтобы продемонстрировать наконец какой тип масок должен быть использован против воздушно-капельных инфекций, и какую степень защиты от них можно ожидать.

Целью настоящей статьи является изложение этих экспериментов с уверенностью в их достаточной полноте, насколько это позволяют сугубо лабораторные методы. Будущие контролируемые эксперименты в инфекционных больницах должны прояснить такие вопросы, как заражение через глаза, руки и т. д.

Все известные нам предыдущие лабораторные эксперименты упустили некоторые особенности практического применения масок, которые могут иметь важное значение для понимания реальных фактов. Мы догадались, что простое гравитационное осаждение микроорганизмов через слои марли, натянутые над чашей Петри, совершенно не соответствует естественным условиям активного дыхания через маску.

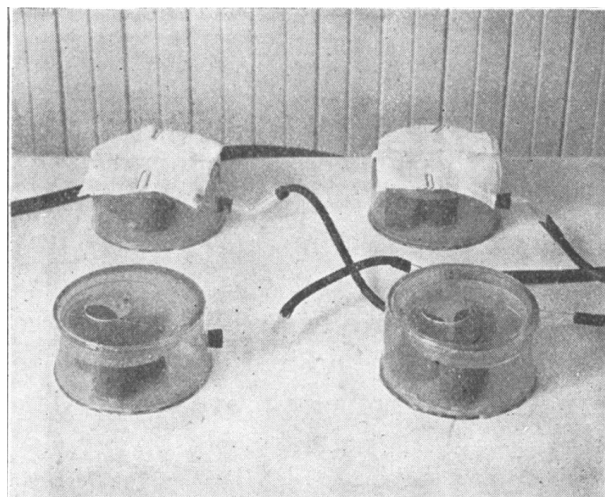
Другой вероятный источник ошибок, который мы хотели исследовать, —

это возможность прохождения воздушно-капельной смеси по краям маски и попадания в ноздри без фильтрации. Большая часть длинной серии предварительных экспериментов будет пропущена без подробностей, не представляя значительного интереса, но являясь важной основой для дальнейших действий.

Первая идея, которая, как и другим, пришла нам голову, — это кашель с различных расстояний на чаши, как открытые так и закрытые марлей. Вскоре была обнаружена необходимость в искусственном усилении выделений, которое было достигнуто впрыскиванием в рот и горло кашляющего суспензии *Bacillus prodigiosus*. Также после многих попыток было решено отказаться от естественного кашля в силу невозможности соблюдения какого-либо единообразия. Число частиц от раза к разу отличалось чрезвычайно. Следовательно, контрольные замеры обесценивались, и между отдельными экспериментами наблюдались нежелательные отличия.

Для наиболее полной имитации реальных условия дыхания через марлю была собрана камера из стеклянной чаши глубиной $2\frac{1}{2}$ и диаметром $4\frac{3}{4}$ дюйма со шлифованными краями, которая накрывалась стеклянной крышкой, имеющей круглую канавку для плотного прилегания к чаше.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ 1.



При использовании, герметизированная парафином крышка служила низом устройства, а в днище чаши, которое было верхом, имелось круглое отверстие диаметром $1\frac{1}{2}$ дюйма. (Смотри иллюстрацию 1.) Сбоку у чаши проделывалось небольшое отверстие диаметром полдюйма для присоединения отсасывающей трубки. Открытые чаши Петри помещались внутрь камеры на больших кусках пробки, хорошо видных на иллюстрации, напротив больших верхних отверстий, которые могут быть закрыты марлей или оставлены открытыми по желанию.

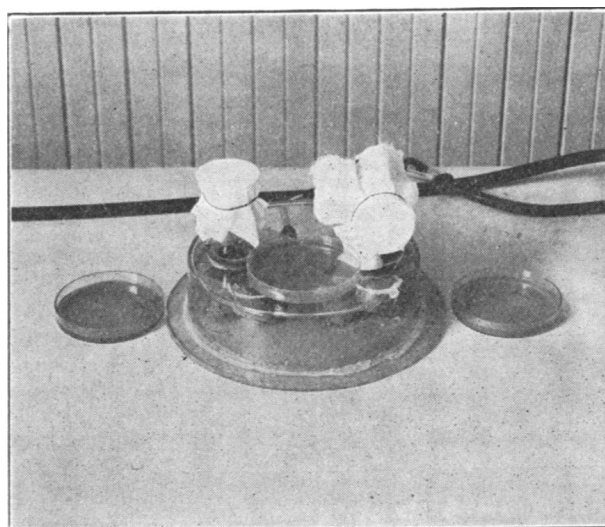
В ранних экспериментах мы использовали прямые и изогнутые переходники для крепления марлевых масок, но позже отказались от них и помещали марлю непосредственно над отверстием камеры. При использовании таких переходников, показанном на иллюстрации 2, было обнаружено значительное снижение числа проходящих через них бактерий по сравнению с прямым доступом к входным отверстиям. Большее снижение наблюдалось с изогнутыми переходниками, что говорит о том, что трубки с несколькими изгибами могут препятствовать проникновению бактерий так же, как марлевый фильтр.

ЭКСПЕРИМЕНТ № I.

Расположение чаши	КОЕ, 48 часов
Первая серия. Кашляющий без маски.	
Внутри под прямым переходником.....	21
Внутри под изогнутым переходником....	5
Снаружи спереди.....	137
Снаружи справа.....	98
Снаружи слева.....	47
Снаружи сзади.....	79
Вторая серия. Кашляющий в маске.	
Внутри под прямым переходником.....	9
Внутри под изогнутым переходником....	3
Снаружи спереди.....	11
Снаружи справа.....	16
Снаружи слева.....	11
Снаружи сзади.....	19

Таблица выше представляет пример результатов, полученных с помощью устройства, установленного на расстоянии четырёх футов перед кашляющим, носящим шестислойную маску с плотностью сетки 40 на 17 прядей на дюйм во второй серии измерений. Кроме чаш Петри под каждым переходником, прямым и изогнутым, четыре чаши помещались снаружи камеры: спереди, сзади и по сторонам.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ 2.



После многочисленных попыток было решено, что естественный кашель слишком переменчив и ненадёжен, и протестированы несколько атоизаторов с разными давлениями, а также обычная спринцовка. Пример результатов:

ЭКСПЕРИМЕНТ № II.

Атоизатор DeVilbiss 15.
Солевая суспензия 48-часовой культуры *Bacillus prodigiosus*.
Чаши в камерах.
Вакуумный насос присоединён к камерам вместо помощника, делающего вдох через трубки.

	От атоизатора		
	1 фут	2 фута	3 фута
Без маски.....	5280	31	0
Маска, 6 слоёв, 20 на 17.....	1380	20	..

В следующем эксперименте в попытке получения более равномерного распределения использовалась суспензия *B. prodigiosus* в лёгком парафиновом масле, так как солевая суспензия часто давала слишком плотный посев, затрудняя подсчёт КОЕ:

ЭКСПЕРИМЕНТ № III.

Маска из марли 20 на 17 прядей на квадратный дюйм — 6 слоёв.

Атомизатор — DeVilbiss 15.

Давление — сжатый воздух из трубки, примерно 40 фунтов.

Культура — *B. prodigiosus*, выращенная за 48 часов в парафиновом масле, распыляемая в течение 30 секунд, и осаждаемая в течение $4\frac{1}{2}$ минут.

Инкубация — 24 часа, 37 °C.

	Расстояние от атомизатора (фут)					
	3	4	5	6	7	8
Без маски	12000*	10000*	6756	4548	3373	3120
6 слоёв	1566	1050	816	562	426	384
5 слоёв	1314	1248	624	222	282	174
4 слоёв	5596	2976	1692	1290	846	576
3 слоёв	10560	7360	4248	3504	2472	1378

* Примерное количество.

Многие подробности этих экспериментов не представляют интереса и не приведены в данной статье, представлены только существенные факты.

В качестве иллюстрации опущенных деталей мы бы упомянули многочисленные эксперименты по подбору подходящего давления и времени экспозиции; эксперименты, в ходе которых были забракованы небулайзеры вроде DeVilbiss 49. Приведён последний из экспериментов по определению оптимального давления и расстояний.

ЭКСПЕРИМЕНТ № IV.

Суспензия 48-часовой культуры *B. prodigiosus* в фильтрованном масле.

Давление — 43 фунта.

Атомизатор — DeVilbiss 15.

Время — только включение и отключение, 5-минутное ожидание оседания.

Распыление сравнимое с чиханием.

Насос подключен к каждой камере во время распыления и оседания.

Производительность вытяжки насколько возможно соответствовала обычному вдоху.

Входные отверстия камер не закрыты марлей.

	От атомизатора		
	3 фута	4 фута	5 футов
Чаша снаружи камеры	2676	2704	2976
Чаша внутри камеры	663	831	1260

ЭКСПЕРИМЕНТ № V.

Такой же, как эксперимент IV, только с марлей плотностью 24 на 18 прядей на квадратный дюйм, закрывающей входные отверстия камер.

Число слоёв — 6.

Расстояние от атомизатора — 5 футов.

	КОЕ
Контрольная чаша снаружи	4764
Контрольная чаша внутри без марли ...	2468
2 слоя марли	1830
3 слоя марли	1280
4 слоя марли	544
5 слоёв марли	674
6 слоёв марли	369
7 слоёв марли	454
8 слоёв марли	63
9 слоёв марли	42

ЭКСПЕРИМЕНТ № VI.

Такой же, как предыдущий, но с выдержкой в три, а не пять минут.

Расстояние от атомизатора — 4 фута	КОЕ
Контрольная чаша снаружи	2694
Контрольная чаша внутри без марли ...	409
2 слоя марли	358
3 слоя марли	420
4 слоя марли	344
5 слоёв марли	338
6 слоёв марли	294
7 слоёв марли	184
8 слоёв марли	167

ЭКСПЕРИМЕНТ № VII.

Суспензия в фильтрованном масле — 48-часовая культура *B. prodigiosus*.

Давление — 43 фунта.

Атомизатор — DeVilbiss 15.

Время — только включение и выключение с 5-минутным осаждением.

Вытяжка — 25 фунтов в камерах во время распыления и осаждения.

Марля — 42 на 44 пряди на квадратный дюйм.

	От атомизатора	
	4 фута	$5\frac{1}{2}$ футов
Без марли	366	421
Снаружи камеры (без вытяжки)	4400	5280
2 слоя марли	329	684
3 слоя марли	391	699
4 слоя марли	251	372
5 слоёв марли	114	264
6 слоёв марли	12	22
7 слоёв марли	4	7
8 слоёв марли	5	4
9 слоёв марли	9	12

ЭКСПЕРИМЕНТ № VIII.

Такой же, как предыдущий, но с 3-минутным осаждением.

	От атомизатора	
	4 фута	5½ футов
Без марли	211	127
Снаружи камеры (без вытяжки)	3594	1836
2 слоя марли	50	20
3 слоя марли	29	8
4 слоя марли	201	18
5 слоёв марли	25	13
6 слоёв марли	0	0
7 слоёв марли	0	1
8 слоёв марли	0	0
9 слоёв марли	1	0

ЭКСПЕРИМЕНТ № IX.

Суспензия в фильтрованном масле — 48-часовая культура *B. prodigiosus*.

Давление — 43 фунта.

Атомизатор — DeVilbiss 15.

Время — только включение и выключение с 5-минутным осаждением.

Вытяжка в камерах во время распыления и осаждения.

Марля — 60 на 72 пряди на квадратный дюйм.

	От атомизатора	
	4 фута	5½ футов
Без марли	871	172
Снаружи камеры (без вытяжки)	4572	5724
1 слой марли	1771	1110
2 слоя марли	897	250
3 слоя марли	133	127
4 слоя марли	26	12
5 слоёв марли	18	14
6 слоёв марли	35	7
7 слоёв марли	21	6
8 слоёв марли	25	8
9 слоёв марли	17	4

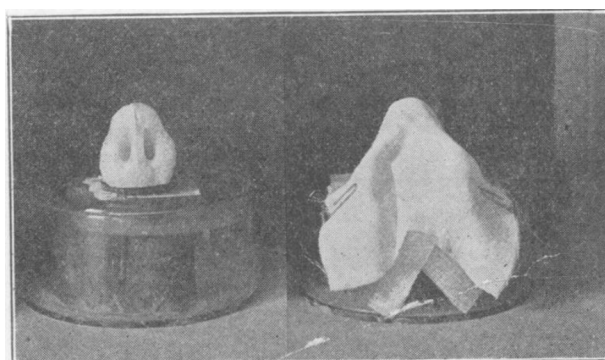
В экспериментах V и VI было обнаружено, что средняя марля, а именно 24 на 28 прядей, не обладает заметным сдерживающим эффектом вплоть до восьми слоёв, что согласуется с наблюдениями в экспериментах Дауста и Лайона, в которых десять слоёв такой марли были проницаемы для кашля. Эксперименты VII, VIII и IX более интересны, поскольку в них участвует мелкая и сверхмелкая марля. Халлер и Колдвэлл обнаружили, что 220 прядей (продольных плюс поперечных, умноженных на число слоёв) на дюйм над чашами Петри практически останавливают прохождение организмов, а Дауст и Лайон заключили, что три слоя сверхмелкой марли были бы доста-

точны для фильтрации *B. prodigiosus*. Они не указывают плотность марли, но предположительно она соответствует плотности 42 на 44 прядей в наших экспериментах VII и VIII, в которых, при наличии имитирующей дыхание вытяжки, даже пять слоёв были недостаточными для уменьшения числа проникновений настолько, чтобы маски имели значение. Более того, наш эксперимент IX с наиболее плотной и качественной марлей 60 на 72 прядей на дюйм продемонстрировал, что при вдыхании воздушно-капельной смеси через маску для заметной фильтрации необходимы четыре слоя марли, через которые чрезвычайно трудно дышать, что оставляет лую надежду на приемлемые результаты на практике.

Следующая серия экспериментов была посвящена выяснению возможности прохождения воздушно-капельной смеси мимо маски, а не сквозь неё, а также имитации других физических условий, связанных с ношением масок. В этих экспериментах, для максимально близкого моделирования естественных условий ношения масок людьми, использовались искусственные носы, сделанные из парафина.

Иллюстрация 3 демонстрирует эти искусственные носы присоединёнными к стеклянным камерам, внутри которых расположены чаши Петри непосредственно за выходными отверстиями в парафине.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ 3.



Были опробованы различные сочетания с моделями. В эксперименте X, с целью определения возможности просачивания по краям маски, в дополнении к обычному носу был задействован нос без ноздрей. Таблица результатов показывает задерживающее влияние носовых проходов, поскольку число КОЕ больше там, где воздух проходит в камеру напрямую, а не через нос.

ЭКСПЕРИМЕНТ № X.

Суспензия в фильтрованном масле — 48-часовая культура *B. prodigiosus*.
Давление — 43 фунта.
Атомизатор — DeVilbiss 15.
Время — только включение и выключение с 3-минутным осаждением.
Вытяжка во время распыления и осаждения.
Марля — 60 на 72 пряжи на квадратный дюйм.
Большая камера — с двумя отверстиями — одно накрытое восковым носом с ноздрями; другое открытое с носом без ноздрей над отверстием.
Расстояние от атомизатора — 5 футов.
Камеры установлены вертикально.

Слои марли	Без ноздрей	Ноздри
Без марли	762	150
Снаружи камеры	2630	..
5 слоёв	54	15
6 слоёв	81	20
7 слоёв	35	13
8 слоёв	18	15
9 слоёв	12	9 пятно
10 слоёв	3	8

Другая заметная особенность этого эксперимента заключается в слабой зависимости результатов от количества слоёв марли в пределах, приемлемых с точки зрения комфорта.

Эксперимент XI (см. изображение 4 и таблицу I) был проведён с несколькими слоями и типами марли. Из результатов первой серии измерений видно, что эффективность фильтрации увеличивается с увеличением числа слоёв марли, особенно когда воздух вынужденно проходит через маску (столбец C) и не может обогнуть её с краёв, как это происходит с надетой на нос маской (столбец A).

ЭКСПЕРИМЕНТ № XI.

Суспензия в фильтрованном масле — 48-часовая культура *B. prodigiosus*.
Давление — 43 фунта.
Атомизатор — DeVilbiss 15.
Время — только включение и выключение с 3-минутным осаждением.
Вытяжка во время распыления и осаждения.
Марля — 60 на 72 пряжи на квадратный дюйм в первой серии и 24 на 28 во второй.
Расстояние от атомизатора — 5 футов.
Вытяжка во всех камерах во время распыления и осаждения.
Камеры установлены вертикально.

ТАБЛИЦА I

ЭКСПЕРИМЕНТ № XI.

	A	B	%	C	D	%	E
--	---	---	---	---	---	---	---

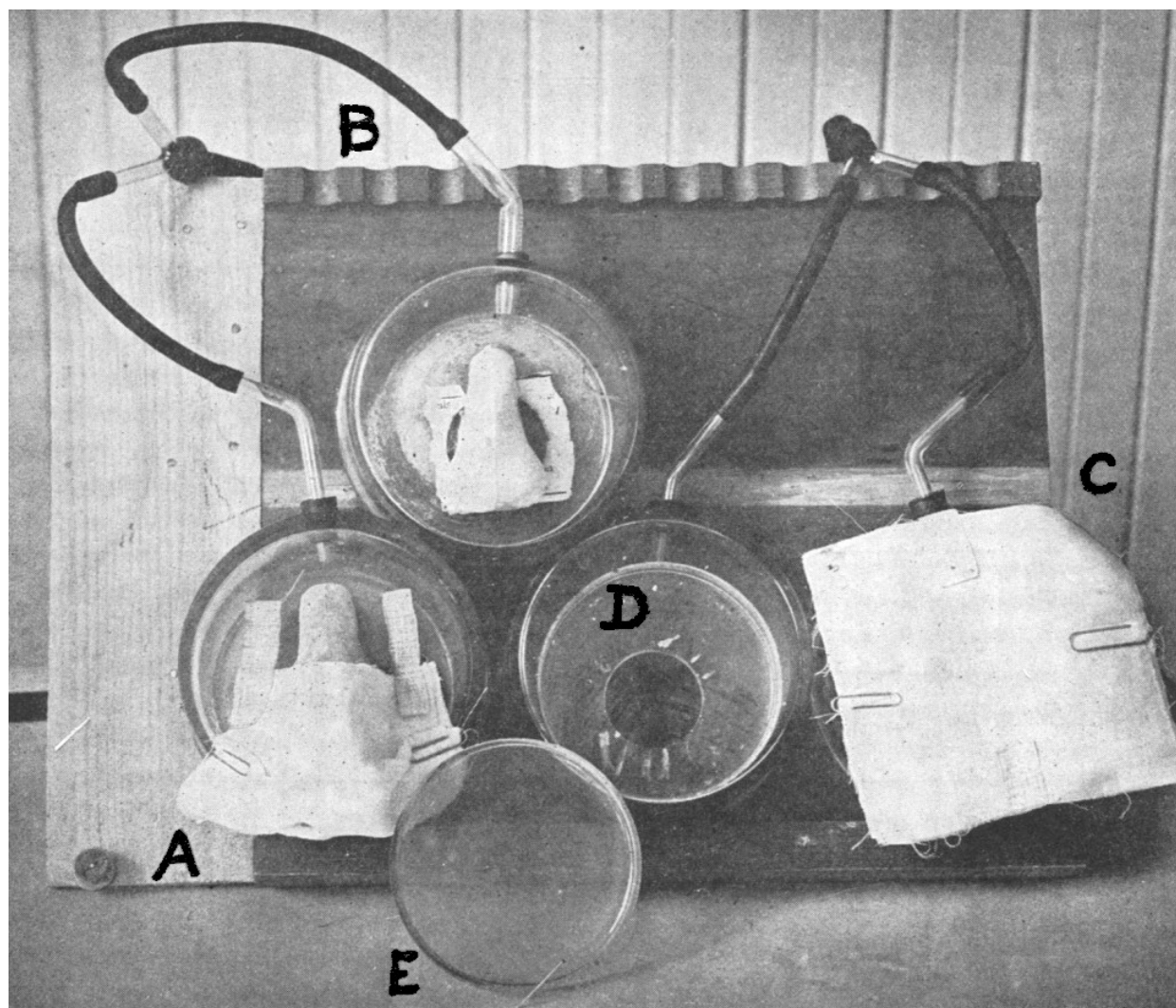
Серия 1 — Марля 60 на 72 прядей на квадратный дюйм.

9 слоёв марли	0	10	100	0	200	100	1000
8 слоёв марли	1	56	98	1	73	98	1122
7 слоёв марли	37	160	77	64	183	70	1265
6 слоёв марли	35	154	77	5	117	95	1230
5 слоёв марли	127	300	57	109	407	70	1260

Серия 2 — Марля 24 на 28 прядей на квадратный дюйм.

10 слоёв марли	39	654	94	34	992	96	1776
9 слоёв марли	42	790	94	240	1716	86	1980
8 слоёв марли	296	681	56	190	684	72	2042
7 слоёв марли	450	1980	77	189	1440	86	много
6 слоёв марли	666	1089	38	466	695	32	2690

ИЛЛЮСТРАЦИЯ 4.



- А. Отверстие в камере закрыто восковым носом с ноздрями и марлевой маской.
- В. Отверстие в камере закрыто восковым носом с ноздрями. Без маски.
- С. Отверстие в камере закрыто приклеенной марлевой маской.
- Д. Отверстие в камере не закрыто ничем.
- Е. Чаша вне камеры — без маски.

Однако разница не очень существенна, что указывает на активное вдыхание как на главную причину неэффективности масок. Та же таблица показывает, что пять слоёв мельчайшей марли, которые невозможно было бы комфортно использовать, эффективны лишь на 57%.

Выводы.

1. Марлевые маски обладают определённым задерживающим влиянием на ко-

личество вдыхаемых капель, содержащих бактерии.

2. Это влияние можно регулировать числом слоёв марли и её плотностью.

3. Когда маска имеет достаточную плотность, чтобы оказать полезное фильтрующее влияние, дыхание становится затруднённым, и воздушно-капельная смесь обходит маску по краям.

4. Эта утечка по краям и энергичное дыхание сквозь маску достаточны для то-

го, чтобы её эффективности не превышала 50 процентов.

5. Будущие контролируемые эксперименты в инфекционных больницах должны определить, является ли ношение достаточно удобных масок эффективным средством снижения числа инфицирова-

ний. [Первые эксперименты были проведены в 2006 году.¹]

6. Маски не продемонстрировали такой степени эффективности, которая бы оправдывала их обязательное применение для борьбы с эпидемиями.

Атомизатор DeVilbiss 15 (дополнение переводчика)

Модель 1910 года, размеры 7 на 25 см.²



¹ <https://pashev.ru/posts/rct> ² <https://mhc.andornot.com/en/permalink/artifact6815>