

УДК 613.495

МЕХАНИЧЕСКИЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЖИ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ, НАГРЕВАНИИ, ОХЛАЖДЕНИИ

¹Федорова В.Н., ²Куликов В.А., ³Фаустова Е.Е., ³Фаустова Ю.Е.

¹ГОУ ВПО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Минздрава России», Москва, e-mail: rsmu@rsmu.ru;

²ООО «Научно-производственное предприятие «Инпроком», Балакирево, e-mail: info@inprokom.ru;

³Медикал бьюти центр Camelot, Москва, e-mail: fee70@mail.ru

Механические свойства биологических тканей имеют важное значение для объективной диагностики и оценки (прогнозирования) эффективности лечения. В работе представлено исследование, в котором использован новый акустический медицинский диагностический прибор (АМДП). В приборе реализован принцип генератора – камертона для получения поверхностных волн. Цель работы – показать возможности нового прибора для оценки изменения акустических механических свойств кожи лица и рук при часто используемых косметологических процедурах: увлажнение (умывание), нагревание (тепловая ванна), охлаждение, применение увлажняющего косметического крема. Показано: увлажнение как водой, так и косметическим кремом, приводит к снижению скорости; нагревание (тепловая ванна), охлаждение приводит к увеличению скорости.

Ключевые слова: акустические механические свойства, новый акустический медицинский диагностический прибор, скорость распространения поверхностных волн, влияние смачивания, нагревания, охлаждения на кожу

MECHANICAL ACOUSTIC SKIN PROPERTIES AFTER MOISTURIZING, HEATING, COOLING

¹Fedorova B.N., ²Kulikov V.A., ³Faustova E.E., ³Faustova Y.E.

¹State Educational Institution of High Professional Education «Russian National Research Medical University by N.I. Pirogov, of Ministry of Health of the Russian Federation» Moscow, e-mail: rsmu@rsmu.ru;

²Research and Manufacturing Enterprise Inprocom LLC, Balakiriyev, e-mail: info@inprokom.ru;

³Medical Beauty Centre Camelot, ³ Moscow, e-mail: fee70@mail.ru

Mechanical properties of the materials, particularly the biological ones, have significant meaning for objective diagnostics and for treatment efficacy evaluation (prognosis). The project represents investigation with the use of a new acoustic medical diagnostic instrument (AMD I). The instrument implements generator principle – camertone for surface waves obtaining. The objective is to show the new instrument possibilities for changes evaluation of the acoustic mechanical properties of face and hands skin after frequently used cosmetological procedures: moisture (washing), heating (thermal bath), cooling, moisturizing cosmetic cream application. Observations: moisture with water as well as with cosmetic cream causes rate reduction; heating (thermal bath), cooling cause rate increase.

Keywords: acoustic mechanical properties, new acoustic medical diagnostic instrument, surface waves spread rate, influence of moisture, heating, cooling on skin

Механические свойства мягких тканей связаны с их структурной организацией. В медицине механические свойства кожи обычно оцениваются пальпаторным методом, когда пальцы врача создают в коже пациента сдвиговую деформацию, а врач оценивает приложенное им усилие. Очевидно, что такой метод субъективен, зависит от опыта самого врача.

В последние годы активно развивается одно из направлений биомеханики – исследование механических свойств мягких тканей с помощью низкочастотных акустических колебаний. Многочисленные результаты, полученные с помощью этих методов, убедительно доказали, что скорость распространения низкочастотной сдвиговой волны (V) является высокочувствительной характеристикой структурной организации мягких тканей.

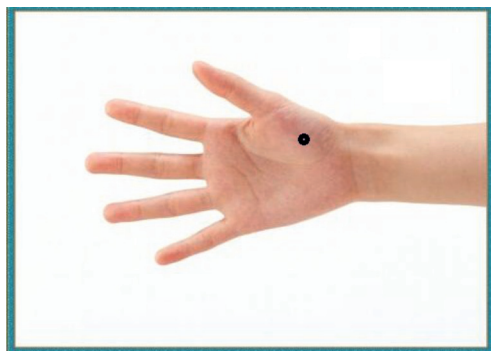
Цель исследования

Показать применимость и высокую чувствительность акустического метода для определения состояния *поверхностных тканей* и для исследования *изменений* механических свойств тканей вод воздействием различных факторов: увлажнения, нагревания, охлаждения.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования. Объектом исследования является кожа рук и лица у женщин с нормальным типом кожи, в возрасте 18–20 лет. Для того, чтобы меньше сказывались индивидуальные особенности кожи, некоторые исследования (при умывании, тепловой бане, охлаждении) проводились на одной и той же группе женщин. На ладони выбрана точка у основания большого пальца (здесь нет сальных желез). На лице выбраны 2 линии акустического сканирования: линия на лбу (7 точек) на расстоянии 1 см

выше от бровей; линия на щеке, соединяющая угол губ и козелок уха (6 точек), рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Области исследования:
а) кожа ладони – точка в основании большого пальца; б) линии акустического сканирования кожи лба и щек



Рис. 2. Внешний вид прибора АМДП с указанием значения скорости, измеренной на эталонном силиконовом образце

Акустический метод. Использован акустический метод, воплощенный в виде портативного прибора для акустического анализа тканей – это разработанный нами акустический медицинский диагностический прибор (АМДП) [2, 3]. Прибор имеет два щупа, один из которых связан с генератором сдвиговых акустических колебаний (1,0–1,5 кГц), а другой – с приемником волн, возникающих в ис-

следуемой ткани. Вычислительное устройство прибора сравнивает сигналы возбуждения и отклика и находит фазовый сдвиг между ними ($\Delta\varphi$). Время распространения сигнала по коже определяется по соотношению $t = \Delta\varphi/\omega$ (ω – циклическая частота генерируемых колебаний). Затем вычисляется скорость распространения сдвиговых возмущений: $V = L/t$ (где L – расстояние между щупами). Величина скорости отображается на цифровом индикаторе.

Время, необходимое для получения одного замера составляет 5–10 секунд.

Перед началом измерений осуществляется тестирование прибора по эталонному силиконовому образцу (изготовленному на ЗАО «МедСил»).

Внешний вид прибора представлен на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Увлажнение

Выяснение механизма влияния влаги важно, т.к. при многих функциональных и патологических состояниях влажность поверхности кожи и содержание в ней влаги меняются весьма существенно.

В нашей работе [4] исследование влияния воды осуществлялось на коже внутренней поверхности ладони у основания большого пальца (в этой области нет сальных желез). Для эксперимента было выбрано 12 женщин в возрасте 18–20 лет. Увлажнение производилось следующим способом: на выбранный участок накладывалась губка, обильно смоченная водой комнатной температуры на время $t = 2$ минуты. После этого кожа быстро промокалась фильтровальной бумагой, затем в течение 10–20 с производились замеры скорости. Измеренные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Увлажнение кожи ладони у основания большого пальца

№ п/п	$V_{до}$, м/с	$V_{пс}$, м/с	ΔV , м/с	ΔV , %
1	11,0	7,0	–4,0	–36,4
2	12,5	8,7	–3,8	–30,4
3	10,5	8,4	–2,1	–20,0
4	13,0	10,5	–2,5	–19,2
5	14,5	11,5	–3,0	–20,6
6	14,0	9,0	–5,0	–35,7
7	12,0	8,0	–4,0	–33,3
8	13,8	10,0	–3,8	–27,5
9	11,2	7,2	–4,0	–35,7
10	13,8	10,0	–3,8	–27,5
Средн.	12,63	9,03	–3,6	–28,63
СКО	1,41	1,46	0,84	6,80

Из таблицы видно, что во всех измерениях величина скорости снижалась, на 20% и более.

2. Умывание

Почти во всех косметических процедурах для очистки кожи перед началом осуществляется умывание. Умывание не только очищает кожу, но и увлажняет ее. Степень увлажнения важна для последующих косметических манипуляций. Поэтому важно оценить количественно увлажнение кожи. Оценка увлажнения при умывании проводилась у 10 женщин (возраст 18–20 лет, нормальный тип кожи) на лбу и щеках, по линиям, указанным на рис. 1. Перед умыванием измерялась скорость в каждой из 7 точек ($V_{до}$). Затем измерения проводились после умывания, утирания быстро в течении 10–20 с ($V_{пс}$). Значения измеренных величин представлены в табл. 2. Увлажнение кожи приводит к снижению значений скорости ($-\Delta V$) примерно на 12%. Полученный результат совпадает данными работы [6], полученными для пористых резин: увеличение содержания воды в резине до 65% привело к уменьшению скорости на 33%.

3. Тепловая баня

Часто для более эффективного действия тех или иных косметологических манипуляций используется распаривание. При этом на кожу накладывается полотенце, смоченное горячей водой, на определенное время создается «тепловая баня». Влияние такой процедуры исследовалось на 10 женщинах (возраст 18–20 лет) с нормальным типом кожи. Измерения скорости проводились до и после процедуры в течение первой минуты. Значения измеренных параметров представлены в табл. 2. После этой процедуры значения скорости возросли на (11–14)%.

4. Холодовое воздействие

Часто в комплексе косметологических манипуляций используется холодное воздействие. В экспериментальных исследованиях охлаждение осуществлялось грелкой со льдом. Грелка находилась на коже в течении 1 минуты. Измерения скорости проводились до и после процедуру в течении 10–20 с. Значения измеренных параметров представлены в табл. 2. После этой процедуры значения скорости возросли на (16–20)%. Полученные результаты совпадают с данными работы [1] (на частоте 5–6 кГц), в которой величина возрастания скорости ΔV после холодного воздействия использовалась как объективный критерий для определения типа кожи.

Из анализа результатов, приведенных в табл. 2, следует, что механические акустические свойства кожи при действии различных физических факторов. Увлажнение (умывание) снижает скорость рас-

пространения поверхностных волн на 12%. Нагревание и охлаждение, напротив, повышают значения скорости, соответственно на 13,8% и на 16,2%.

Таблица 2
Изменение скорости в коже лба и щек при различных воздействиях, ΔV , %

Область	N Точки	Процедура		
		Умывание	Тепловая баня	Холод
Лоб	1	-12,9	+10,2	+15,3
	2	-12,1	+10,7	+12,5
	3	-10,7	+11,5	+12,6
	4	-13,3	+10,3	+17,6
	5	-12,8	+12,5	+26,4
	6	-11,8	+13,6	+27,2
	7	-12,3	+14,0	+27,4
	Средн.	-12,3%	+11,7%	+19,8%
	СКО	0,86	1,68	6,90
Щеки	1	-11,9	+10,8	+14,3
	2	-13,6	+10,9	+12,0
	3	-11,4	+11,7	+12,3
	4	-11,6	+10,1	+15,6
	5	-11,3	+15,2	+20,4
	6	-12,1	+13,6	+22,5
	Средн.	-12,0%	+12,0%	+16,2%
	СКО	0,85	2,0	4,3

5. Увлажняющий крем

Ранее [4] для выполнения исследования влияния увлажняющего крема на кожу лица была выбрана группа из 20 женщин одного возраста (после 50 лет) одного веса, со сходными клиническими параметрами кожи: сухая, с нерезко выраженными морщинами, с сохраненным тургором. В течение 2-х недель крем наносился на кожу лица в одинаковом режиме. С помощью акустического анализатора (частота волны 5–6 кГц) измерялась скорость поверхностных волн до и после 2-х недельного применения крема.

По клиническим оценкам и по собственным ощущениям пациенток было выделено две группы: 1 – удовлетворительным и 2 – неудовлетворительным эффектом влияния крема на кожу. В табл. 3 представлены результаты акустического сканирования для обеих групп.

У женщин 1-ой группы скорость снижалась во всех точках сканирования: в коже лба на 25%, в коже щек на (26–27)%. У женщин 2-ой группы снижение скорости было ниже, а в некоторых случаях наблюдалось и повышение скорости по сравнению с исходным значением. Распределение параметра ΔV представлено на рис. 3.

Таблица 3

Скорость распространения в различных участках кожи лица до применения крема ($V_{до}$), после применения ($V_{пс}$), их разница (ΔV) у 20 пациентов

№ п/п	Лоб			Правая щека			Левая щека		
	$V_{до}$, м/с	$V_{пс}$, м/с	ΔV , %	$V_{до}$, м/с	$V_{пс}$, м/с	ΔV , %	$V_{до}$, м/с	$V_{пс}$, м/с	ΔV , %
Удовлетворительный эффект применения крема									
1	31	28	-9,6	30	24	20,0	31	27	12,9
2	30	23	-23,3	32	24	25,0	31	25	19,3
3	31	27	-12,9	33	25	24,2	34	25	26,4
4	35	27	-22,8	32	26	18,7	35	26	25,7
5	31	20	-35	33	26	21,2	32	23	28,1
6	31	22	-29	32	24	25,0	33	25	24,2
7	31	21	-32	32	20	37,5	31	21	32,2
8	31	18	-42	33	19	42,4	34	22	35,3
9	29	21	-27,5	32	21	34,3	30	23	23,3
10	30	25	-16,6	32	25	21,8	31	25	19,3
11	31	26	-16,1	32	24	25,0	31	26	16,1
12	30	23	-23,3	32	28	12,0	34	21	38,2
13	30	20	-33,3	31	20	35,5	31	19	38,7
14	29	20	-31,0	31	19	38,7	31	23	25,8
Средн.	30,7	22,9	-25,3	31,9	23,2	27,2	32,1	23,6	26,1
СКО	1,4	3,2	9,2	0,8	2,9	8,9	1,6	2,9	7,9
Неудовлетворительный эффект применения крема									
1	31	28	-9,7	30	30	0	32	31	1
2	33	29	-12,1	31	30	-3,2	33	30	3
3	32	32	0	33	35	6,0	30	34	-4
4	29	32	10,0	33	29	-12,1	29	28	1
5	30	28	-6,7	30	33	10,0	29	26	3
6	30	34	13,0	28	32	14,3	31	27	4
Средн.	30,8	30,5	-0,9	30,8	31,5	2,5	30,7	29,3	1,3
СКО	1,5	2,5	10,5	1,94	2,2	9,6	1,6	2,9	2,9

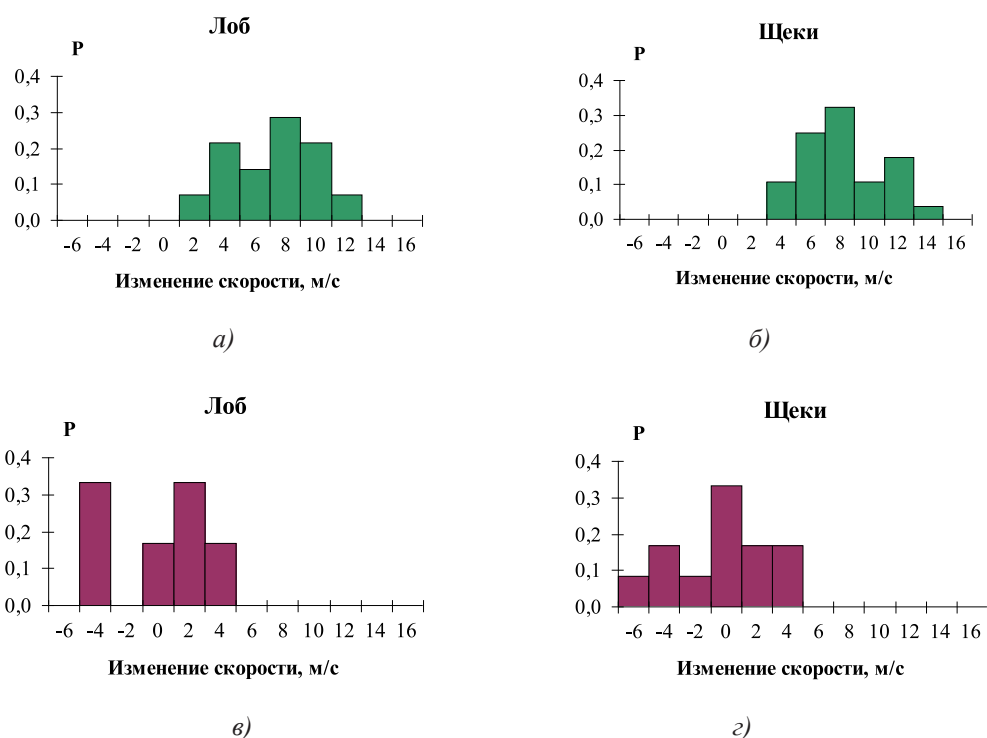


Рис. 3. Распределения параметра ΔV для кожи лба и щек при удовлетворительном (а, б) и неудовлетворительном (в, г) эффекте воздействия крема

На основании полученных данных был предложен количественный критерий оценки эффективности увлажняющих косметических средств [5].

Выводы

Показано, что акустический неинвазивный экспресс-метод позволяет количественно оценить воздействие на кожу увлажнения (смачивание водой и увлажняющий крем), нагревания, охлаждения. Акустический метод может быть рекомендован для исследования изменений в коже, вызванных воздействием различных средств.

Список литературы

1. А.с. № 1604353 Заявка № 4208899, 8.07.1990.
2. Патент RU 2362487 C2, 27.07. 2009.
3. Патент RU 112618 U1, 20.01.2012.
4. Федорова В.Н. Экспериментальное обоснование использования акустических свойств кожи и других тканей для диагностики и оценки эффективности их лечения: дисс. докт.биол. наук. – М., 1996. – С. 226–229.
5. Федорова В.Н., Богатырева И.И., Самсонов В.Н., Фаустова Е.Е., Волкова Е.В. Биомеханические параметры при оценке эффективности косметических средств // Вестник дерматологии и венерологии. – 1996. – № 2. – С. 10–12.
6. Шорохов В.В., Воронков В.Н., Клишко А.Н., Пашовкин Т.Н. Распространение поверхностных сдвиговых возмущений продольной поляризации в моделях мягких биологических тканей // Механика композитных материалов. – 1992. – № 5. – С. 669–677.