

УДК 53.047:57(075.8)

АКУСТОМЕТРИЯ РУБЦОВЫХ ПЕРЕРОЖДЕНИЙ

Козырь Л.В., Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Биганов А.В., Михалева В.А., Жакинбаев А.

РНИМУ - Российский научно-исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова, Россия, Москва, e-mail fedvn46@yandex.ru

Аннотация

Рассматривается применение акустического метода при исследовании рубцов различных типов. Представлены характеристики для оценки механических свойств кожи при рубцевании (рубцы послеожоговые, рубцы в челюстно-лицевой хирургии). Предложен объективный неинвазивный акустометрический метод дифференциальной диагностики рубцов и оценки эффективности их лечения различными способами.

Ключевые слова: скорость распространения поверхностной волны, акустический метод, нормометрические, гипертрофические, келоидные рубцы.

ACOUSTOMETRY OF SCARRELS

Kozyr L.V., Faustova E.E., Fedorova V.N., Biganov A.V., Mikhaleva V.A., Zhakinbaev A.

RNIMU - Russian Research Medical University named after N.I. Pirogova, Russia, Moscow, e-mail fedvn46@yandex.ru

Annotation

The application of the acoustic method in the study of scars of various types is considered. Characteristics for assessing the mechanical properties of the skin during scarring (post-burn scars, scars in maxillofacial surgery) are presented. An objective non-invasive acoustometric method for differential diagnosis of scars and assessment of the effectiveness of their treatment by various methods is proposed.

Key words: speed of propagation of surface waves, acoustic method, normometric, hypertrophic, keloid scars.

Механические свойства биологических тканей являются очень информативными. В последние годы для изучения механических свойств тканей в медицинскую практику стал активно внедряться акустический метод, возникло направление - биоакустометрия [9]. В акустическом методе реализуются сдвиговые поверхностные волны низкой частоты, [11,7,8]. Скорость распространения этих волн (возмущений) определяется структурной организацией надмолекулярного уровня, которая изменяется как при развитии патологического процесса, так и в процессе его лечения. Эти изменения объективно отражаются в изменении величины скорости распространения волны. Это позволяет неинвазивно их обнаруживать и следить за динамикой физиологических изменений.

Материалы и методы.

Объектом исследования в данной работе является нормальная кожа и кожа с рубцовыми перерождениями. Формирование рубцов различных типов исследовалось на примере ожоговых и челюстно-лицевых ран.

Акустометрические исследования проводились с использованием акустического анализатора кожи (прибор АСА [11]) и акустического медицинского диагностического прибора (АМДП), [7,8], позволяющих измерять скорость распространения поверхностных волн на частотах (5 – 6) кГц.

Измерялась скорость в нормальной коже (V_n) на расстоянии 2 см от рубца, либо на контрлатеральной области тела и скорость в рубцовой ткани (V_p). По измеренным значениям определялся параметр $Z = (V_p/V_n - 1)100\%$.

Лечение рубцов имеет определенные трудности, о чем свидетельствует многочисленность применяемых методик. Используются: хирургическое иссечение, ферментотерапия, гормонотерапия, рентгенотерапия, которые не всегда дают положительный результат. При всех методах лечения *необходимо знать тип* рубцовой ткани [4].

Классическая диагностика типа рубцовой ткани

Рубцы на коже – продукт регенерации, появляющийся при заживлении на месте повреждения слоев кожи: эпидермиса, дермы, и/или гиподермы. Рубцы могут быть как результатом перенесенных заболеваний кожи (ветряная оспа, угри, пиодермия и др.), так и следствием осложнений после травм, ожогов, хирургических вмешательств.*****

В повседневной врачебной практике диагностика типа рубца основана на визуальной и пальпаторной оценке следующих его признаков: размер, интенсивность, окраска, плотность (на ощупь), возвышение над уровнем окружающей визуально нормальной кожи, рельеф поверхности, чувствительность. Указанные выше признаки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Признаки для различных рубцов

Клинический признак	Четкое проявление признака (%) для различных рубцов		
	Атрофический	Гипертрофический	Келоидный
взятие в складку	легко берется в складку, 100%	берется в складку 90%	не берется в складку 100%
возвышение над кожей	нет, 100%	возвышается на 1-2 мм, 90%	возвышается более чем на 5 мм, 70%
плотность	нет, 100%	средняя, 100%	грубая, 100%
цвет рубцовой ткани	белый, 100%	серо-коричневый, 90%	розовато-коричневый, 90%
цвет рубцовой ткани	белый, 100%	серо-коричневый, 90%	розовато-коричневый, 90%
цвет нормальной кожи	белая, 100%	белая, 40%	смуглая 69%
наличие зуда	нет, 100%	эпизодически, 60%	постоянно, 80%
шелушение	нет, 100%	среднее, 50%	сильное, 70%
отечность	нет, 100 %	да, 10%	да, 60 %
бугристость	нет, 100%	средняя, 100%	грубая. 100 %
рост	нет, 100 %	да, 10 %	да, 40%
Гистологические признаки			
толщина эпидермиса		меньше	больше
блестящий слой		менее определен	более определен
толщина коллагена		меньше	больше
упорядоченность волокон		имеет место	почти отсутствует

бифильтрация фибробластов		менее выражена	более выражена
------------------------------	--	----------------	----------------

Сложность правильной диагностики типа рубца объясняется как клиническим сходством между различными типами рубцов, так и тем, что их особенности не всегда выражены визуально. С указанными трудностями связан большой процент расхождения между клиническими и гистологическими диагнозами. Так, например, для келоидов диагнозы не совпадают в 75-80% случаев, а расхождения в случае гипертрофических рубцов составляют около 25% [1].

Совершенствование лечения и реабилитации больных с разными рубцами невозможно без своевременной и точной диагностики патологического типа рубцевания, так как от этого напрямую зависит вся тактика лечения.

В связи с этим, актуален поиск объективных, неинвазивных, информативно – значимых методов исследования, применяемых в широкой клинической практике. В последние годы для этих целей широко используется акустический метод. Этот метод широко применяется в различных областях медицины: кожная пластика - ранняя оценка качества приживления костного лоскута; дерматология - объективная оценка стадий дерматозов и оценка эффективности лечения; офтальмология – оценка механических прижизненных свойств роговицы, склеры, кожи век для прогнозирования близорукости; маммопластика - оценка механических свойств кожи молочной железы с целью выбора правильной тактики хирургического вмешательства; челюстно-лицевая хирургия – дифференциальная типов ран

Диагностики типов рубцов акустическим методом

Методика диагностирования типов рубцовой ткани изложена в работах [9, 5]. При диагностировании рубцов акустическим методом на выделенный участок кожи наносятся точки сканирования, рис. 1. Скорости V_p , измеренные в этих точках сопоставляются с нормой – V_n . В качестве нормы для каждого пациента были использованы значения скорости, измеренные у этого же пациента в интактной коже на симметричных участках или вблизи рубца. Диагностика типа рубцов производилась с учетом трех классических типов рубцов.

Послеожоговые рубцы

Работа основана на результатах исследования больных с послеожоговыми рубцами [9,5,6].



Рис. 1. Сканирование рубцовой области прибором АМДП [7, 8]

По гистограммам рассчитана эмпирическая плотность распределения V для разных типов рубцов, рис.2.

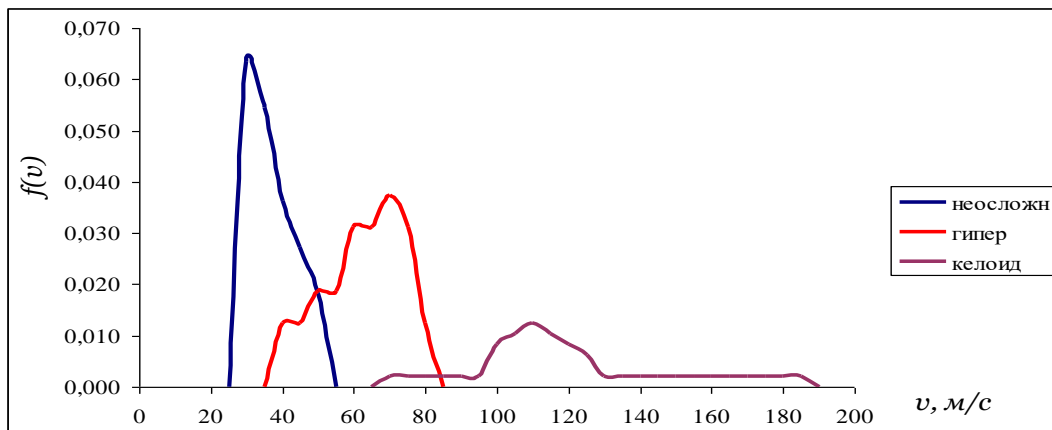


Рис. 2. Эмпирическая плотность распределения скорости V для рубцов различных типов.

На основании этих графиков можно проводить вероятностную оценку принадлежности рубца к тому или иному типу, что имеет большое клиническое значение.

Результаты выполненных исследований позволили сделать вывод о том, что акустический безразмерный параметр Z является диагностически значимым при определении *степени выраженности рубцового перерождения* кожи.

Для ожоговых рубцов параметр Z имеет следующие значения:

- если отличия между нормой и патологией $Z = (9-16)\%$, то рубец нормотрофический;
- если отличия между нормой и патологией $Z = (30-40)\%$, то рубец гипертрофический;
- если отличия между нормой и патологией $Z = (98-128)\%$, то рубец келоидный.

Определение типа послеожогового рубца подтверждено гистологическими исследованиями [5].

Послеоперационные рубцы в челюстно-лицевой хирургии

Работа основана на результатах исследования больных с гнойно-воспалительными ранами в области лица и шеи [3, 2]. У пациентов производилось обследование кожи в тех участках лица и шеи (подглазничная

область, носогубная складка, поднижнечелюстная и под подбородочная области), в которых обычно осуществляется хирургический разрез при гнойно-воспалительных процессах челюстно-лицевой области.

Рис. 3 Акустическое сканирование в области рубца прибором АСА [11] перед снятием швов
В области операционной раны после вскрытия гнойного очага сформировался нормотрофический рубец, были отмечены гипертрофический тип формирования рубца, был выявлен келоидный тип формирования рубца

Для этой группы пациентов параметр Z имеет следующие значения:

- при нормотрофическом рубце $Z = (10 - 28)\%$;
- при гипертрофическом рубце $Z = (30 - 45)\%$;
- при келоидном рубце $Z = (80 - 150)\%$.

Тип рубца подтверждался клиническими методами.

Таким образом, изменения акустических показателей, регистрируемых в процессе формирования рубцовых изменений кожи, являются дополнительными объективными критериями оценки типа рубцов.

Литература

1. Белоусов А.Е. Рубцы и их коррекция. Очерки пластической хирургии. СПб. Командор-SPB, 2005. Т.1. С.128.
2. Гончарова А.В., Кравец В.И., Сивохина В.П., Биганов А.В. Акустометрия в области лица и шеи// Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы физики и технологии в образовании, науке и производстве». Рязань, март. 2020. С. 80-82.
3. Кравец В.И., Федорова В.Н., Притыко А.Г. Анализ акустических свойств мягких тканей как метод функционального контроля состояния ран челюстно-лицевой области и шеи // Вестник российского государственного медицинского университета, №4, 2010, с. 33-37

4. Павлович В.А. Лечение и профилактика келоидных и гипертрофически рубцов в области лица и шеи: дисс. канд. мед. наук. М. 2010.
5. Соболева И.В. Обоснование тактики лечения детей с послеожоговыми рубцами кожи. М. дисс. канд. мед. наук. М. 2007.
6. Соболева И.В., Будкевич Л.И., Шурова Л.В., Федорова В.Н. Дифференциально-диагностические критерии типа рубцовой ткани у детей с последствиями термической травмы//Детская хирургия. 2007. №5. с.30-34.
7. Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Куликов В.А. Способ неинвазивного измерения скорости распространения акустических колебаний в эластичной ткани. Патент RU 2362487 С2 от 27. 07. 2009 г.
8. Федорова В.Н Куликов В.А., Фаустова Е.Е., Фаустов Е.В. Датчик для акустического микросканирования мягких биологических тканей. Патент № 2594806. 27.07. 2016 г.
9. Федорова В.Н., Фаустова Е.Е. Акустическая биомеханика кожи и мягких тканей в объективной диагностике и оценке эффективности лечения. Монография. Изд. РАМН. 2018.
10. Шурова Л.В., Воздвиженский С.И., Принципы реабилитации в детской комбустиологии//Реабилитология. Сборник научных трудов (Ежегодное издание). М. 2004. с.162-164
11. Sarvazyan A.P.et al., Method and device for acoustic testing of elasticity of biological tissues, United States Patent, N 4, 947851, 14. 08. 1990.

КОНЕЦ

Рис. 11.1. Акустическое сканирование в области рубца прибором АСА перед снятием швов

1989

Investigation of predictive factors in keloid formation

Cherise Malinda Dyal
Yale University

Follow this and additional works at: <http://elischolar.library.yale.edu/ymtdl>

Recommended Citation

Dyal, Cherise Malinda, "Investigation of predictive factors in keloid formation" (1989). *Yale Medicine Thesis Digital Library*. 2547.
<http://elischolar.library.yale.edu/ymtdl/2547>

This Open Access Thesis is brought to you for free and open access by the School of Medicine at EliScholar – A Digital Platform for Scholarly Publishing at Yale. It has been accepted for inclusion in Yale Medicine Thesis Digital Library by an authorized administrator of EliScholar – A Digital Platform for Scholarly Publishing at Yale. For more information, please contact elischolar@yale.edu.

Акустическая диагностика степени созревания рубцов

В работе [165 Соболева И.В., Будкевич Л.И., Шурова Л.В., Федорова В.Н.

Дифференциально-диагностические критерии типа рубцовой ткани у детей с последствиями термической травмы//Детская хирургия. 2007. №5. с.30-34.] показано, что скорость распространения акустической волны детерминируется морфологическими характеристиками послеожоговых рубцов. Это позволило разработать неинвазивную акустическую методику разграничения типов рубцов на стадии созревания, а также для установления степени их зрелости (4). Эта проблема является достаточно актуальной [16, 29, 224, 223, 225, 279].

В работе [164] динамика изменения скорости V в рубцах наблюдалась на фоне проводимого лечения для нормотрофического и гипертрофического рубцов.

8.4.1. Созревание нормотрофического рубца

Созревание нормотрофического рубца при ожоговой травме обеих стоп показано на рис. 8. 4.



Рис. 8.4. Нормотрофический рубец в разные сроки после самостоятельной эпителизации: а) 3 месяца; б) 6 месяцев

На рис. 8.5. приведен пример изменения скорости V в процессе формирования нормотрофического рубца. На графике представлена зависимость от времени отношения V_p/V_n . Через 3 недели после полной эпителизации пораженная область имеет мягкую консистенцию, эластична, подвижна и не спаяна с подлежащими тканями. При этом значения скорости V близки к ее значениям в здоровой коже. Затем начинается формирование рубцовой ткани. К концу второго месяца рубцовая ткань стала плотной и значения скорости достигли максимума. После чего плотность рубцовой ткани при пальпации постепенно снижалась. Значения скорости V при этом приближались к норме.

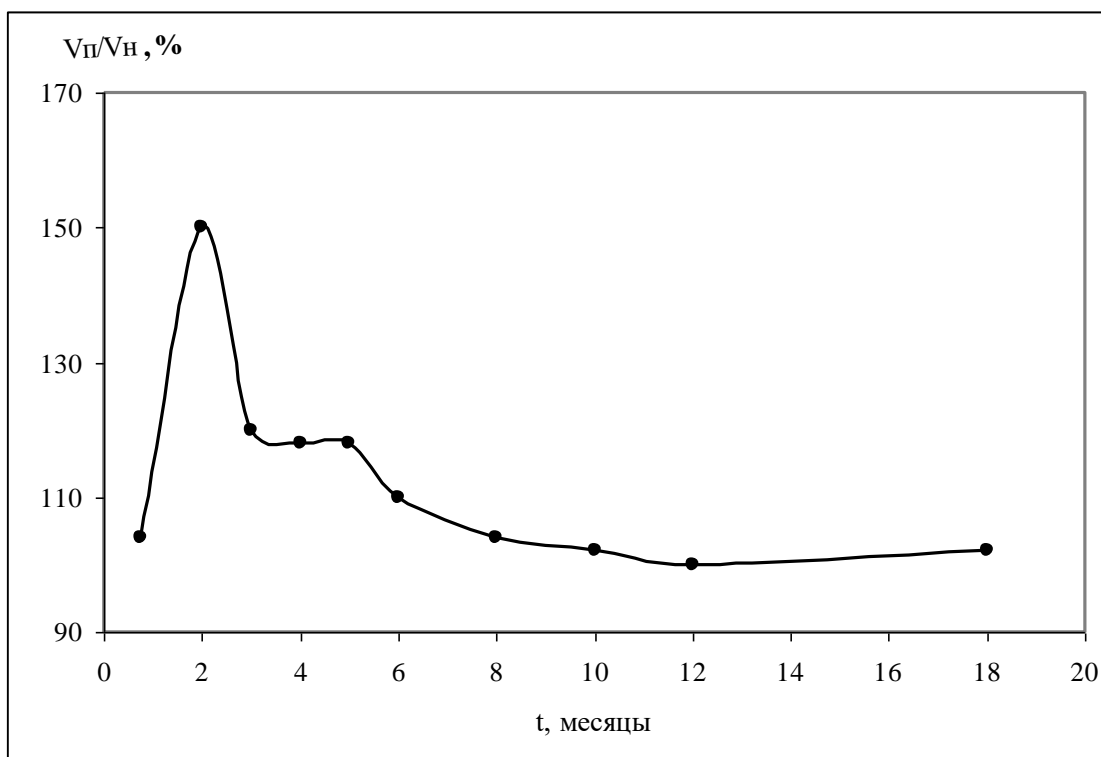


Рис. 8.5. Динамика изменения отношения $V_{п}/V_{н}$ в нормометрическом рубце

8.4.2. Созревание гипертрофического рубца

Созревание гипертрофического рубца при ожоговой травме правой стопы показано на рис. 8.6.

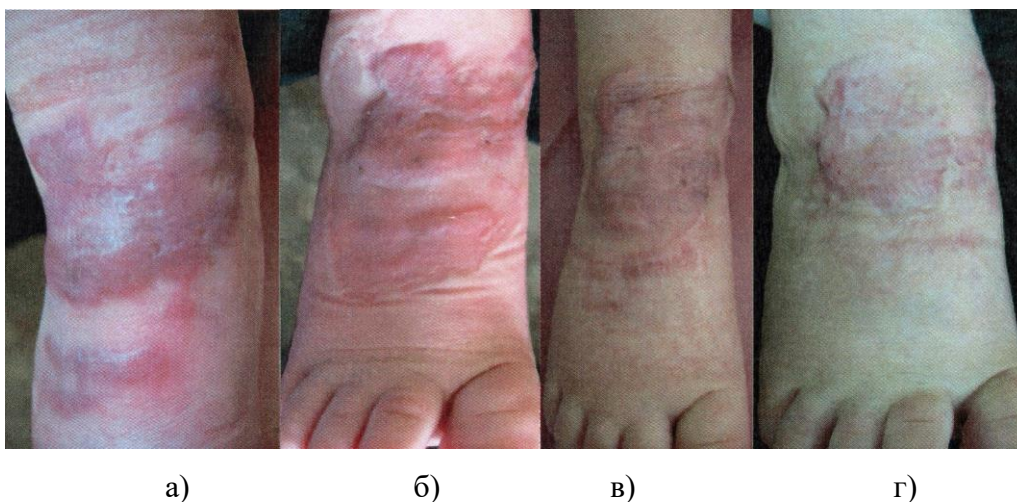


Рис. 8.6. Созревание гипертрофического рубца в разные сроки после операции:
а) 3 недели; б) 2 месяца; в) 6 месяцев; г) 12 месяцев

На рис. 8.7. приведен пример изменения скорости V в процессе формирования гипертрофического рубца. На графике представлена зависимость от времени отношения $V_{п}/V_{н}$. Через 3 недели пораженная область была умеренно плотной, среднеэластичной и не спаяна с подлежащими тканями. При этом значения скорости V почти в два раза превышало ее значения в здоровой коже. Затем начинается формирование рубцовой ткани. К концу второго месяца рубцовая ткань стала более плотной, малоэластичной, спаянной с

подлежащими тканями. Значения скорости достигли максимума. После чего плотность рубцовой ткани при пальпации постепенно снижалась. Значения скорости V при этом к норме не возвращались.

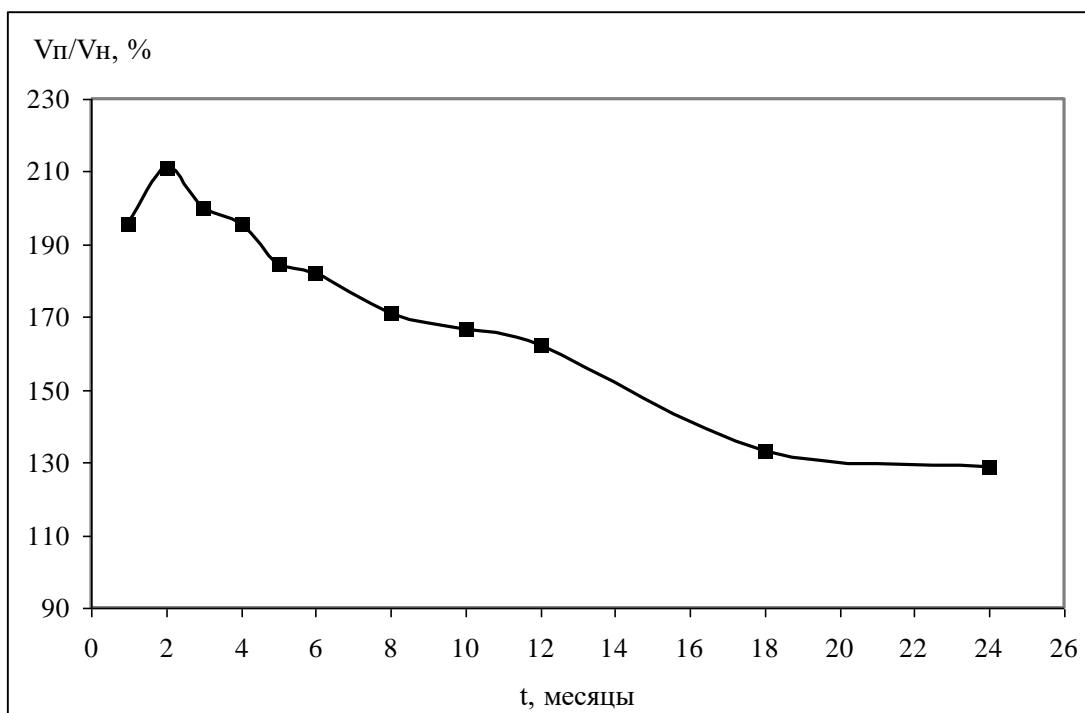


Рис. 8.7. Динамика изменения отношения $V_{п}/V_{н}$ в гипертрофическом рубце

8.4.3. Сравнительная акустометрия при созревании нормотрофического и гипертрофического рубцов

Сравнение изменений скорости при формировании нормотрофического и гипертрофического рубцов показано на рис. 8.8 в относительных единицах ($V_{п}/V_{н} \cdot 100\%$).

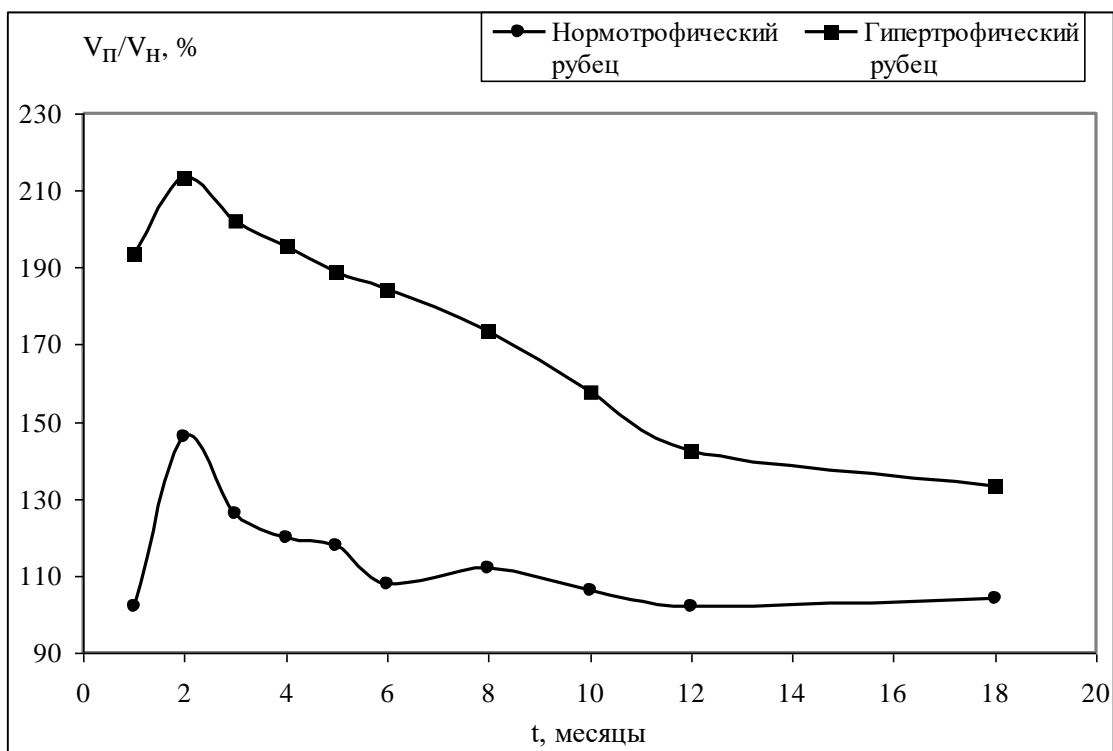


Рис. 8.8. Динамика изменения отношения $V_{п}/V_{н}$ в нормотрофическом и гипертрофическом рубцах

Видно, что скорость V в гипертрофических рубцах значительно выше, чем в нормотрофических за все время наблюдения.

Сравнение темпов изменения скорости при физиологическом (нормотрофическом) и патологическом (гипертрофическом) типе рубца свидетельствует как об их различии, так и о схожести.

Схожесть проявляется в однотипности кривой, отражающей динамику развития рубцов; наблюдаются одинаковые этапы: нарастание значений скорости, достижение максимума значений скорости, снижение скорости, выход на плато.

Отличие проявляется в разности численных значений на различных этапах.

Ориентиром прогнозирования формирования типа рубца можно считать срок в **3 месяца** его существования. В этот срок:

- при формировании нормотрофического рубца наблюдается резкое снижение значения скорости;
- при формировании гипертрофического рубца наблюдается медленное снижение скорости.
- Далее через 6 месяцев после эпителизации ран отличия в значениях скорости существенны в рубцах разного типа.

С некоторого срока (для нормотрофического рубца – 10 месяцев, для гипертрофического – 18 месяцев) скорость стабилизируется.

Для нормометрического рубца анализ контрольного измерения через 18 месяцев показал, что значения скорости остаются стабильными на протяжении 6 месяцев, без статистически значимых различий между величинами скорости, измеренными через 10 и 18 месяцев.

Полученные данные свидетельствуют о том, что созревание нормометрического рубца заканчивается к 10 месяцам после заживления раны.

Для гипертрофического рубца нет статистически значимых различий в значениях скорости V , измеренных через 18 и 24 месяца после заживления раны. Полученные данные свидетельствуют о том, что зрелость гипертрофического рубца наступает к 18 месяцам.

8.5. Сравнительная акустометрия оперативного восстановления и самостоятельной эпителизации

Сравнивались два различных способа восстановления кожного покрова:

- 1) оперативное лечение (проведение тангенциальной некротомии с аутодермопластикой или аутодермопластики на гранулирующие раны;
- 2) самостоятельное заживление – самостоятельная эпителизация.

Клиническая картина свидетельствовала о том, что имеет место более быстрое созревание рубцовой ткани при выполнении оперативного лечения.

С целью объективизации данных клинической картины одновременно проводилось акустическое сканирование в выделенных областях. Сравнение динамики изменения скорости для обоих способов лечения представлено на рис. 8.9 в относительных единицах ($V_{п}/V_{н} \cdot 100\%$).

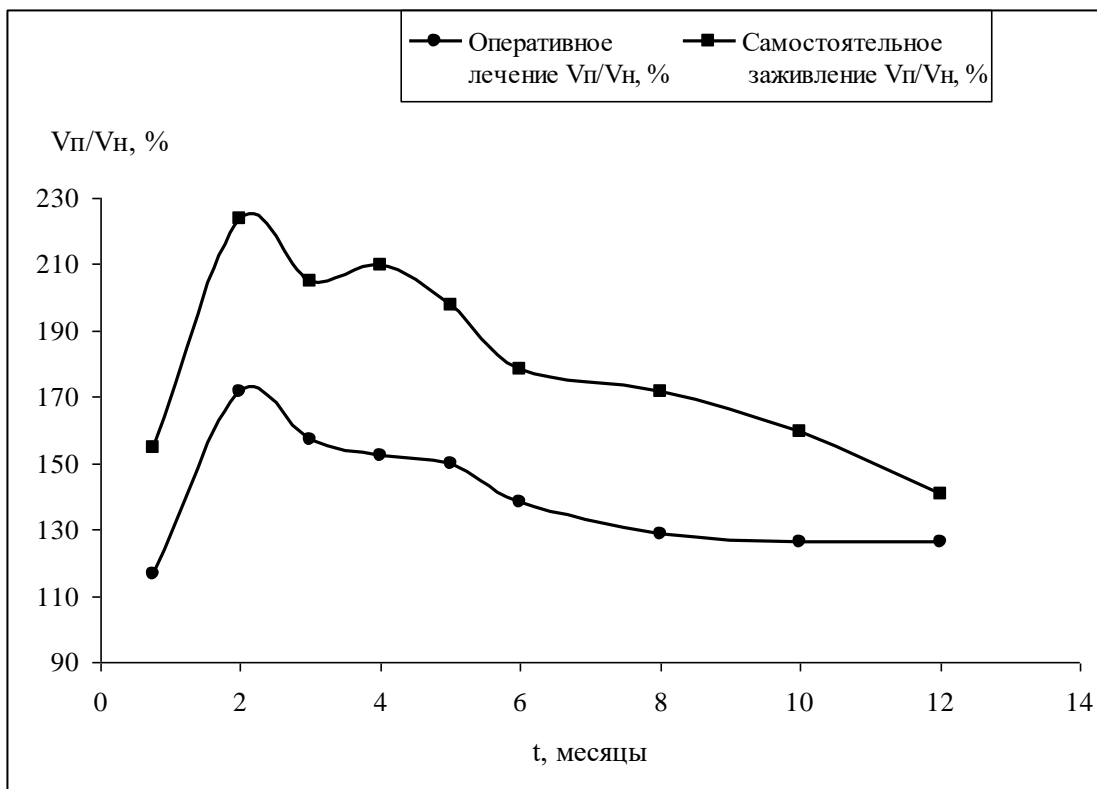


Рис. 8. 9. Изменении отношения $V_{п}/V_{н}$ в рубце при различных способах лечения

Акустическим методом показано, что при оперативном восстановлении целостности кожного покрова скорость $V_{п}$ снижается значительно быстрее по сравнению с самостоятельным заживлением раны. Это безусловно говорит в пользу хирургической тактики и совпадает с клиническими выводами.

8.6. Акустометрия при оценке эффективности консервативного лечения

Примерно 75% больных с глубокими ожогами нуждаются в проведении консервативного реабилитационного лечения. Клиническая практика свидетельствует о том, что подход к лечению больных с последствиями глубоких ожогов должен быть дифференцированным, так как тактика ведения этих больных зависит от многих факторов: возраст, тип рубца, его локализация, степень созревания, «активность» рубцовой ткани [168, 217, 222].

В настоящее время применяются различные консервативные методы, чтобы справиться с рубцами и предотвратить рецидив келоидов:

- терапия силиконового покрытия или геля, (гели эпостодерм, медгель);
- стероидные инъекции;
- компрессионная терапия: использование давящих повязок из эластических бинтов и лайкры (самоклеющиеся и простые), тугое бинтование, поддерживающие повязки, компрессионное белье;
- применение микропористых пластырей;
- интерферонотерапия;
- ботулинотерапия рубцов (внутрикожное введение ботулинического токсина);

- дермотония;
- массаж.

В работе [164] разработана схема консервативной терапии в зависимости от типа рубца. Проведен сравнительный анализ по оценке эффективности комплекса противорубцовой терапии на примере 2 групп детей.

В основную группу вошли дети, родители которых строго выполняли назначения врача и им в полной мере проведено комплексное противорубцовое лечение.

В группу сравнения вошли дети, которые получили терапию в неполном объеме по независящим от врача причинам (нежелание ребенка, семейные обстоятельства).

Консервативное лечение включало в себя комплексное поэтапное реабилитационное лечение, принятое в практике ожогового центра (компрессионная терапия, ЛФК, шинирование, массаж, силиконотерапия, ферментотерапия, физиолечение, местное применение противорубцового геля).

Клинико-инструментальная оценка эффективности реабилитационной терапии проводилась в следующие сроки: через 3 недели после заживления ожоговых ран; затем через 2, 3, 6, 12, 18 месяцев.

Всем больным проводилось акустическое сканирование по стандартной методике. Для рубца использовался параметр $V_{п}/V_{н}$, показатели скорости в здоровой коже принимались за 100 %.

Результаты, полученные в разные сроки после заживления представлены на рис. 8.10.

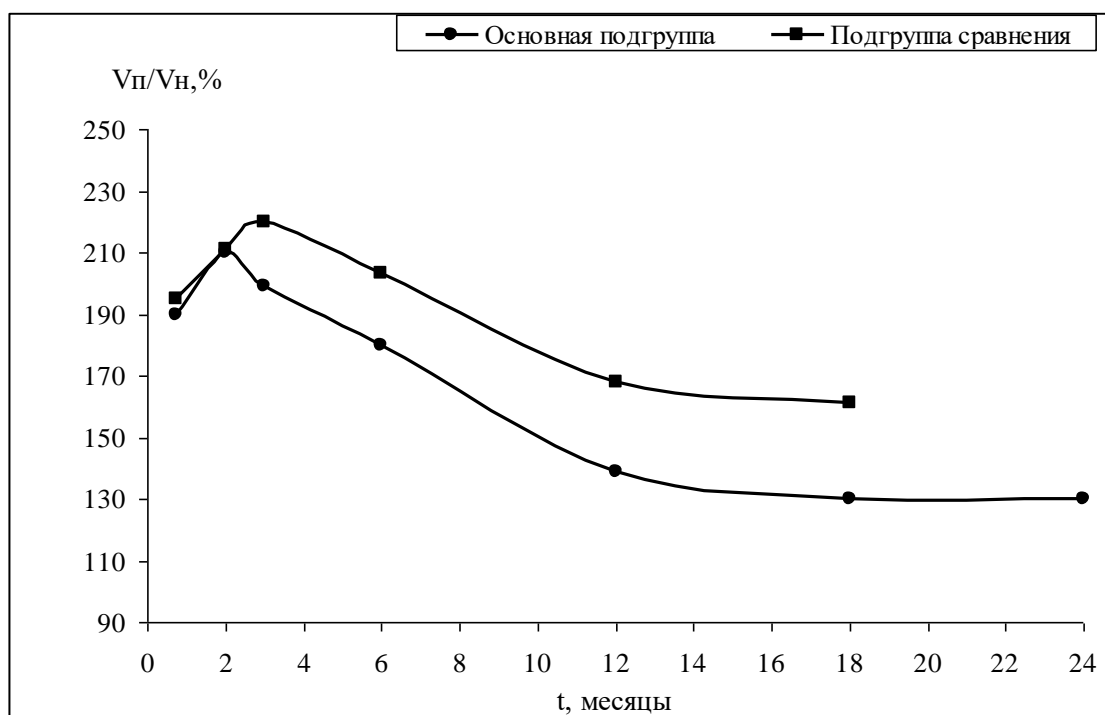


Рис. 8.10. Изменение параметра $V_{п}/V_{н}$ в процессе заживления

Оценка показателей скорости V в динамике у больных на фоне проведенной адекватной

консервативной противорубцовой терапии свидетельствует о том, что уже через 18 месяце заканчивается созревание гипертрофического рубца, а при осуществлении неполной по объему медицинской реабилитации численные значения скорости в эти сроки соответствуют сохраняющейся «активности» рубцового процесса.

Применение акустометрии к оценке эффективности консервативного лечения показало следующее:

- проведение акустического мониторинга созревающей рубцовой ткани в раннем посттравматическом периоде позволяет идентифицировать тип послеожогового рубца и обосновать дифференцированную тактику лечения больных с последствиями термической травмы.
- прогностическим признаком, характеризующим тип формирующегося рубца, является зависимость между динамикой роста и темпами снижения численного значения скорости в рубце по сравнению с непораженной кожей в первые три месяца с момента эпителизации ожоговой раны.
- критерием, свидетельствующим о степени зрелости послеожогового рубца, является отсутствие изменений численного значения скорости на протяжении 6 месяцев наблюдения после достижения стабильных (неизменных) показателей скорости.
- эффективность прогнозирования физиологического или патологического типа рубцевания до появления клинических признаков в первые 3 месяца после восстановления утраченного кожного покрова подтверждается полным совпадением прогнозируемых и реальных исходов формирования рубца.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что акустический метод является дополнительным объективным неинвазивным методом для оценки консервативного лечения рубцов.

8.7. Акустометрия при крио- и СВЧ-криогенном лечении келоидных и гипертрофических рубцов

При лечении келоидных и гипертрофических рубцов часто используют криогенный или СВЧ-криогенный метод.

8.7.1. Механизмы криовоздействия и СВЧ-облучения

Криохирургия успешно используется для лечения келоидных и гипертрофических рубцов [206, 61, 73].

Чувствительность рубцовой ткани к низкотемпературному воздействию объясняется высоким содержанием в его ткани воды: фибриллярный белок коллаген, составляющий

основную массу рубца, отличается высокой степенью гидрофильности. Однако некроз рубцовой ткани после «чистого» криовоздействия оказывается поверхностным, и при массивных рубцах требуются многократные повторные аппликации, что значительно увеличивает сроки лечения. Одной из причин этого является высокое содержание в ткани келоида «связанной воды», недоступной влиянию хладагента.

Терапевтический эффект криолечения зависит от прямого повреждения клеток и изменений микроциркуляции, вызванных замораживанием. Экстремально низкая температура вызывает сосудистые повреждения и соответственно стаз крови, что приводит к клеточной аноксии. Вязкость крови повышается, приводя к тромбообразованию, ведущему, в свою очередь, к тканевому некрозу [206].

Метод криотерапии часто применяют совместно с облучением электромагнитным полем СВЧ-диапазона (СВЧ-облучением) [205].

СВЧ-криогенный метод – это усиление криодеструкции путем предварительного СВЧ-воздействия на объект замораживания. СВЧ-поле воздействует на дипольные структуры в биоткани, основную часть которых составляют молекулы воды [195]. Под влиянием микроволн диполи воды переходят в возбужденное состояние, причем возникают резонансные явления, изменение зоны гидратации, разрывы внутримолекулярных связей, дестабилизирующие структуру воды. Молекулы воды становятся более «подвижными» и «чувствительными» к различным физическим воздействиям. Таким образом, локальное облучение СВЧ-электромагнитным полем создает благоприятные условия для увеличения зоны крионекроза. Зона криодеструкции после СВЧ-криогенного воздействия существенно превышает таковую после «чистого» криогенного воздействия.

8.7.2. Методика проведения лечения

В данном разделе представлены результаты лечения больных с гипертрофическими и келоидными рубцами СВЧ-криогенным методом (3). Хирургическое лечение проводилось пациентам с рубцовыми контрактурами. Количество больных: с гипертрофическими рубцами – 240, с келоидными – 86; возраст от 1 года до 24 лет. Длительностью существования рубца составляла от 6 месяцев до 10 лет

Причинами возникновения келоидов были ожоги, оперативные вмешательства, травмы и др.

СВЧ-облучение производилось с помощью аппаратов «Луч» и «Термик» в физиотерапевтическом режиме (предельная мощность ПМ составляла 1,2 – 1,5 Вт/см²) в течение 3-5 мин.

Криовоздействие осуществлялось с помощью криоаппликатора с диаметром насадки 2,5

см и температурой рабочей части 160°C. Продолжительность криовоздействия зависела от величины рубца и составляла 2-5 мин.

8. Акустический контроль лечения

8.8.1. Крио-лечение гипертрофических и келоидных рубцов

При акустическом сканировании в рубцах реакция отклика на крио-процедуру имеет две стадии: 1) возрастание скорости; 2) резкое снижение скорости. Однако проявление этих стадий различно. Так, на стадии (1) интервал времени (2 мин) возрастания скорости у гипертрофического рубца более короткий, чем у келоидного (5 мин). Это объясняется тем, что гипертрофический рубец располагается более поверхностно и, следовательно, быстрее подвергается криовоздействию (быстрее замораживается).

На стадии (2) начинается оттаивание, начинает формироваться отек, что проявляется в резком снижении значений скорости. Причем, значения скорости V в рубцовой ткани на этой стадии становятся сопоставимыми со значениями скорости V для визуально нормальной кожи. Стадия (2) для гипертрофических рубцов проявляется в течение 3-5 минут после окончания процедуры замораживания, для келоидных рубцов в течение 5-7 минут.

8.8.2. Сочетанное СВЧ-крио-лечение келоидных рубцов.

Такое лечение проводится по следующей схеме. На рубец оказывается СВЧ-воздействие. После этого воздействия скорость V незначительно уменьшается (не более чем на 5 м/с). Затем производится криовоздействие. После чего в динамике процесса выделяются две стадии: 1) возрастание скорости к 5-7 минуте; 2) резкое снижение скорости V в течении 7-10-й минуты. Через 10-15 минут значения скорости V становились сопоставимыми со значениями, характерными для визуально непораженной кожи. Оттаивание в этом случае сопровождается формированием более выраженного отека. После СВЧ-криогенного воздействия наблюдается больший объем замораживания, а следовательно и больший объем гибели патологической рубцовоизмененной ткани.

8.8.3. Сравнительная акустометрия при воздействия криодеструкции и СВЧ-криодеструкции

Воздействие волнами СВЧ-диапазона усиливает эффект криодеструкции, что обусловлено в значительной мере повышением теплопроводности ткани.

После СВЧ-криогенного лечения наблюдается обширный перифокальный отек, отторжение струпа происходит дольше и заживление идет медленнее, чем после криогенного лечения. Подкожная часть рубца подвергается быстрейшему рубцеванию и структура кожи быстрее восстанавливается, чем при лечении таких же рубцов криогенным методом.

Таким образом, акустическим методом показано, что для лечения гипертрофических

рубцов оптимален метод криодеструкции, а для келоидных рубцов – применение сочетанного СВЧ-криогенного метода.

Имеряемые величины

В исследованиях акустическим прибором измеряются следующие величины:

V – скорость в объекте,

V_y, V_x – скорости во взаимно-перпендикулярных направлениях,

V_n – скорость в нормальной ткани,

$V_{п}$ – скорость в патологической ткани,

$V_{до}$ – скорость до какого-либо воздействия,

$V_{пс}$ – скорость после воздействия.

Вычисляемые характеристики

По полученным при сканировании значениям скорости вычисляются следующие характеристики:

1. динамика изменения скорости V в процессе воздействия, (лечения), $V = f(t)$;
2. разница значений скоростей, измеренных до и после какого-либо воздействия (лечения):

$$\Delta V = V_{до} - V_{пс} \text{ (или наоборот);} \quad (1)$$

3. разница скоростей в участках визуально нормальной и патологически измененной кожи:

$$\Delta V = V_{п} - V_{н}; \quad (2)$$

4. коэффициент акустической анизотропии $K = V_y/V_x - 1$, (3)

который может быть, как положительным: ($K+$) при условии $V_y > V_x$, так и отрицательным ($K-$) при условии $V_y < V_x$.

Полученные результаты

Ожоговые раны

Выводы.

Исследования, проведенные с использованием специальных физических моделей, позволили выявить основные факторы, влияющие на скорость распространения поверхностных волн. Они достоверно показали, что скорость распространения поверхностных сдвиговых волн звукового (акустического) диапазона объективно отражает особенности механических свойств материалов.

Список литературы

1. Демин И.Ю., Сато Т., Камеяма К., Фуджи К., Като М., Джанк К.Ю. Использование низкочастотных акустических волн для диагностики мягких тканей//Акустический журнал. 1995. Т.41. № 3. С. 508-512.
2. Клочков Б.Н., Соколов А.В. Волны в поверхностном слое мягкой биоткани на полупространстве из твердой биоткани//Акустический журнал. 1994. Т.40, № 2. С. 270-274.
3. Маевский Е.И., Федорова В.Н., Мак-Хьюдж Ф., Аксенова О.Г. Исследование распространения сдвиговых поверхностных возмущений в однородных и композитных моделях акустическим анализатором//Механика композитных материалов и конструкций. 1996. № 2. С. 27-32.
4. Сарвазян А.П., Пасечник В.И., Шноль С.Э. Низкая скорость звука в гелях и протоплазматических структурах. Возможное биологическое значение этого явления // Биофизика. 1968. Т.13. С. 587 - 594.
5. Сарвазян А.П. Низкочастотные акустические характеристики биологических тканей//Механика полимеров.1975. № 4. С. 691-694.
6. Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Куликов В.А. Способ неинвазивного измерения скорости распространения акустических колебаний в эластичной ткани. Патент RU 2362487 С2 от 27. 07. 2009 г.
7. Федорова В.Н., Фаустова Е.Е. Акустическая биомеханика кожи и мягких тканей в объективной диагностике и оценке эффективности лечения. Монография. Изд. РАМН. 2018.
8. 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. №5. 1992. №5. С. 669-677.
9. Sarvazyan A.P.et al., Method and device for acoustic testing of elasticity of biological tissues, United States Patent, N 4, 947851, 14. 08. 1990.
10. Vexler A.M., V.N.Fedorova, I.S.Persina, V.I.Popov, V.N.Voronkov, V.V.Shorokhov, D.Vucelic. Acoustical heterogeneity and anisotropy of normal and pathological skin. Abstracts of the First World. XIX Yugoslav symposium on biophysics and satellite symposium "Medical bioacoustics" Sarajevo-Igman. 1988. P. 165-167.