

На правах рукописи

Бурлай Елена Викторовна

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЕРМАТОГЛИФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАДОНИ

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2009

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Спиридонов И.Н.

Официальные оппоненты: д.т.н., с.н.с. Парашин В.Б.
к.т.н. Блохов А.В.

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники
(ФГУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора)

Защита состоится " 9 " декабря 2009 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.14 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана в зале Ученого Совета по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5.

Ваш отзыв в одном экземпляре просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " 6 " ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



А.В. Самородов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Эпилептические припадки различной этиологии переносят до 5% населения в популяции (Гусев Е.С., 1994, Бурд Г.С., 1995). Число резистентных к лечению больных достигает 40%, а более 20% детей больных эпилепсией становятся инвалидами и утрачивают способность к социальной адаптации вследствие частых тяжелых припадков и нарушений психики.

Одним из наиболее распространенных типов эпилепсии является идиопатическая эпилепсия (ИЭ), составляющая более 30% от всех случаев заболевания. Основным фактором развития ИЭ в настоящее время считается наследственная предрасположенность, выражающаяся в генетических нарушениях антиэпилептических структур головного мозга (Болдырев А.И., 1967, Durner M. 2001).

Сложность диагностики ИЭ обусловлена отсутствием биохимических и структурных изменений головного мозга, что существенно ограничивает возможности современных инструментальных методов: электроэнцефалографии, ультразвуковых исследований, томография и др., выявления патологии головного мозга. Результаты исследований российских и зарубежных эпилептологов и генетиков подтверждают наследственный характер заболевания, поэтому для скрининга ИЭ целесообразно использовать результаты исследований информативных морфогенетических вариантов, применяемые для выявления наследственных и генетических болезней (Мухин К.Ю., 2000, Петрухин А.С., 2000, Кулкарни Дж., 2004).

По данным научно-технической литературы из всех информативных морфогенетических вариантов наиболее информативными для выявления ИЭ являются дерматоглифические параметры ладоней (Кулкарни Дж., 2004). Исследования зарубежных и отечественных авторов показывают, что в качестве диагностических признаков для выявления ИЭ целесообразно применять дерматоглифические параметры ладони: тип ладонных узоров (ТЛУ), локализацию ладонных узоров (ЛЛУ), тип ладонных трирадиусов (ТЛТ), значения ладонных углов и гребневого счета между ладонными трирадиусами (Тарк Р., 2003, Солониченко В.Г., 2003), однако не разработан обобщенный комплекс дерматоглифических параметров ладони (КДПЛ) для медико-генетического консультирования.

В настоящее время дерматоглифические исследования выполняются визуально на основе анализа узоров гребешковой кожи, расположенных в области пальцев и ладоней. Визуальное определение КДПЛ затруднено, так как на дерматоглифическом изображении ладони размером более 100×100 мм необходимо обнаруживать и классифицировать элементы изображений и характерные точки: трирадиусы, ядра, размер которых составляет менее 3×3 мм (И.С.Гусева, 1986). Отсутствие формализованной методики

сегментации областей ладонной поверхности, сложность визуального распознавания характерных точек при классификации типа ладонных узоров и трирадиусов снижает достоверность результатов визуальных дерматоглифических исследований и ограничивает возможность их применения для скрининга ИЭ в практике медико-генетического консультирования.

Разработанные отечественные (МГТУ им. Н.Э.Баумана, ЗАО Папилон и др.) и зарубежные (Cognitec Systems GmbH, Sonda Technologies и др.) аппаратно-программные комплексы обеспечивают определение комплекса дерматоглифических параметров отпечатков пальцев, но не позволяют классифицировать типы ладонных узоров и трирадиусов, обнаруживать области тенара, гипотенара и межпальцевую область на поверхности ладони. Разработанные методы обработки изображений папиллярных узоров (Карасев И.В., 2001, Аполлонова И.А., 1999, Хрулев А.А., 2007) не обеспечивают классификацию переходных и дуговых узоров, типичных для ладонной дерматоглифики, и классификацию ладонных трирадиусов, расположенных в области тенара и гипотенара.

Таким образом, разработка биотехнической системы автоматизированных дерматоглифических исследований ладони является социально значимой и актуальной задачей.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является разработка биотехнической системы автоматизированных дерматоглифических исследований ладони.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать комплекс дерматоглифических характеристик ладони, адекватный комплексу дерматоглифических параметров ладони и метод измерения дерматоглифических характеристик.
2. Исследовать источники дефектов изображений ладони и разработать критерии качества дерматоглифических изображений.
3. Разработать требования к устройству регистрации полноразмерных изображений ладони, вычислительным средствам и программному обеспечению автоматизированных дерматоглифических исследований.
4. Создать и апробировать макет аппаратно-программного комплекса автоматизированных дерматоглифических исследований ладони.

Методы исследования

Поставленные задачи диссертационной работы решались на основе теории биотехнических систем, теории распознавания образов, методов теории вероятностей и математической статистики, методов проектирования

программного и информационного обеспечения, технологии объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна

1. Впервые предложен комплекс дерматоглифических характеристик ладони (КДХЛ), включающий количество и тип характерных точек, число мод нормированного углового пространственно-частотного спектра (НУПЧС), координаты характерных точек, координаты антропометрических точек ладони, среднюю пространственную частоту гребней, расстояние между характерными точками, адекватный комплексу дерматоглифических параметров ладони (КДПЛ).
2. Предложен алгоритм классификации дуговых и переходных ладонных узоров, не содержащих характерные точки, основанный на анализе интегральных характеристик пространственно-частотного спектра изображения.
3. Разработан алгоритм обнаружения границ области тенара, гипотенара и межпальцевой области на основе выделения характерных точек узоров и антропометрических точек.
4. Разработан алгоритм оценки качества дерматоглифических изображений ладони (ДИЛ), позволяющий обнаруживать и классифицировать дефекты изображений ладони на основе значений обобщенного контраста изображения, средней пространственной частоты гребней и линейного коэффициента вариации НУПЧС.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке требований к устройству регистрации дерматоглифических изображений, вычислительным средствам и программному обеспечению автоматизированных дерматоглифических исследований ладони.

Сформированный КДХЛ обеспечивает численное описание параметров структуры и формы изображений ладони и позволяет повысить достоверность дерматоглифических исследований.

Разработанные критерии качества дерматоглифических изображений и алгоритм классификации типов ладонных дефектов предназначены для обнаружения и классификации дефектов и обеспечивают достоверность определения КДХЛ.

Разработанный алгоритм классификации типов дефектов дерматоглифических изображений и сформированная база изображений дефектов позволяет выполнять испытания аппаратно-программных комплексов автоматизированных дерматоглифических исследований и ладонных сканеров.

Разработанные принципы построения и прототип программного и информационного обеспечения автоматизированных дерматоглифических исследований позволяют снизить трудоемкость и повысить достоверность результатов дерматоглифических исследований за счет численного описания параметров структуры и формы изображений ладони.

Результаты работы позволяют рекомендовать аппаратно-программный комплекс автоматизированных дерматоглифических исследований ладони к применению в центрах медико-генетического консультирования различных уровней и специализаций для решения задач медико-генетического консультирования, спортивной медицины и психиатрии, в судебно-медицинской экспертизе при анализе дерматоглифических изображений фрагментов ладони.

Положения, выносимые на защиту

1. Комплекс дерматоглифических характеристик ладони включает количество и тип характерных точек, число мод нормированного углового пространственно-частотного спектра, координаты характерных точек ладони, координаты антропометрических точек ладони, среднюю пространственную частоту гребней, расстояние между характерными точками.
2. Тип ладонных узоров, на которых отсутствуют трирадиусы и ядра, определяется числом мод нормированного углового пространственно-частотного спектра по пороговому уровню $\alpha = 0,7$: переходному узору соответствует одна мода; дуге соответствует две моды.
3. Качество дерматоглифических изображений ладони определяется значением обобщенного контраста изображения, средней пространственной частотой и линейным коэффициентом вариации нормированного углового пространственно-частотного спектра.

Апробация работы

Апробация работы проведена на базе Центра медико-генетического консультирования городской детской клинической больницы №13 им. Н.Ф.Филатова. Результаты представлены на выставках «Здравоохранение-2007», «Мир биотехнологий-2007», «Здравоохранение-2008». Результаты работы внедрены в учебный процесс факультета «Биомедицинская техника» МГТУ им. Н. Э. Баумана, научно-исследовательский и испытательный центр биометрической техники МГТУ им. Н.Э. Баумана и Центр медико-генетического консультирования городской детской клинической больницы №13 им. Н.Ф.Филатова.

Основные положения работы доложены и обсуждены на IX РНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (о. Сицилия, Италия,

2007), XV РНТК «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение» (г. Москва, 2008), X РНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (г. Монастир, Тунис, 2008), XII Международной научно-технической конференции «Медико-экологические информационные технологии-2009» (г. Курск, 2009), XI РНТК «Медико-технические технологии на страже здоровья» (Черногория, 2009).

Публикации

По материалам диссертации опубликованы 2 научные статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и 17 тезисов докладов на научных конференциях.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Текст диссертации изложен на 144 страницах. В приложения вошли результаты экспериментальных исследований. Список литературы включает 147 библиографических источников. Диссертация проиллюстрирована рисунками, таблицами, графиками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы цель и задачи, положения, выносимые на защиту, представлена структура работы.

В первой главе представлен обзор методов диагностики и скрининга ИЭ. На основе сравнительного анализа методов диагностики наследственных болезней обосновано применение дерматоглифических исследований ладони для скрининга ИЭ.

Для формирования комплекса дерматоглифических параметров выполнен анализ и обобщение научно-технической литературы, позволившие установить, что КДПЛ должен содержать ТЛУ, ЛЛУ, ТЛТ, гребневой счет (ГС) и ладонный угол (ЛУ) между трирадиусами.

На основе проведенных ранее исследований дерматоглифических параметров ладони (Гусева И.С., 1973, Солониченко В.Г., 2001) установлено, что узоры распределены на поверхности ладони не равномерно и могут быть локализованы в области тенара, гипотенара и в межпальцевой области. Локализация узора на поверхности ладони характеризуется параметром ЛЛУ (рис. 1 а). Ладонные трирадиусы в зависимости от локализации на поверхности ладони принято классифицировать на карпальный, промежуточный и срединный (рис. 1 б). Показано, что для определения ЛЛУ и ТЛТ необходи-

мо оценивать координаты границ ладонных областей и координаты характерных точек ладонных узоров.

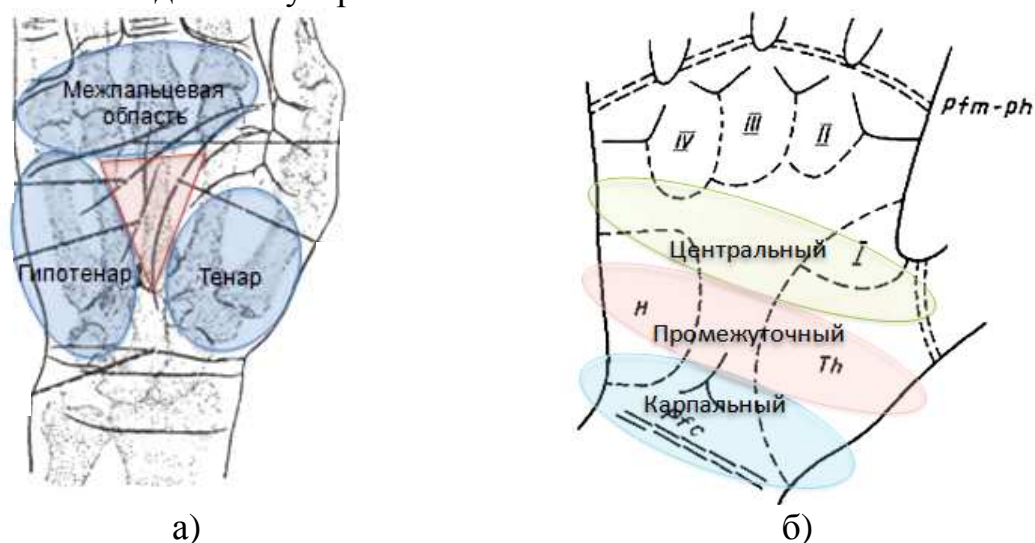


Рис. 1. Топография ладонной поверхности:

а) локализация ладонных узоров; б) локализация ладонных трирадиусов

Для систематизации ТЛУ в диссертационной работе проведен анализ научно-технической литературы и исследования ТЛУ практически здоровых людей и больных ИЭ: выборки 114 и 96 человек. Исследования ТЛУ позволили установить статистически значимые различия относительной частоты встречаемости переходных узоров у больных ИЭ и в норме (уровень значимости $\alpha < 0,05$). На основе полученных данных к общепринятым типам ладонных узоров: дуга, петля, завиток, двойная петля, добавлен переходной узор. На рис. 2 представлены типы ладонных узоров: дуга, переходной узор, петля, завиток, двойная петля (рис. 2).

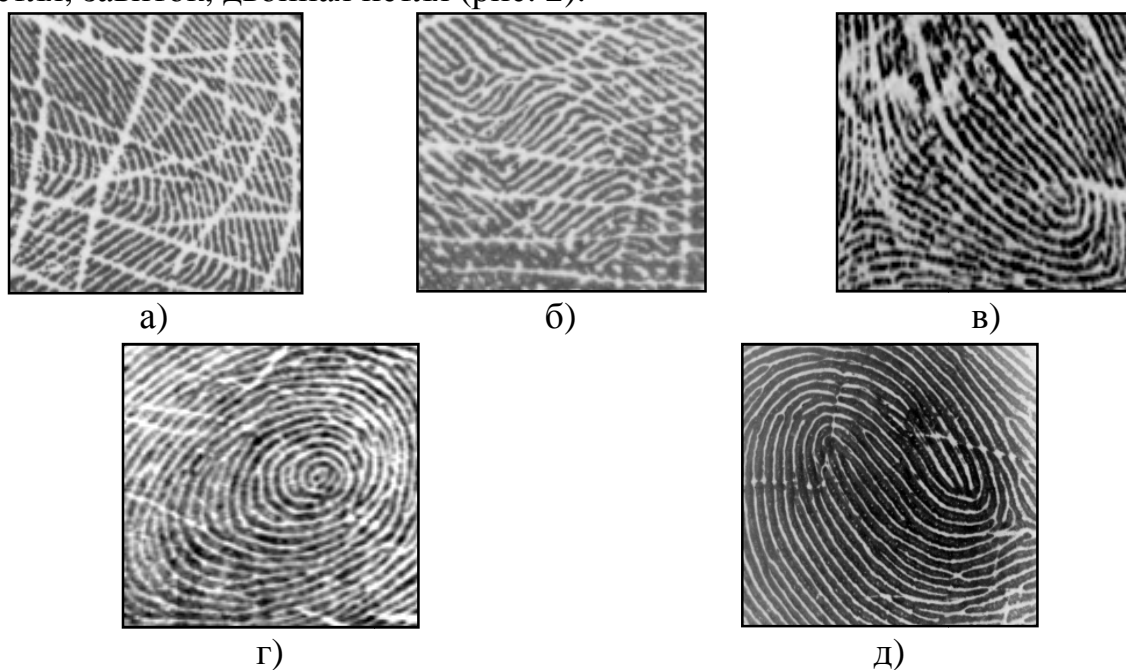


Рис. 2. Типы ладонных узоров:

а) дуга; б) переходной узор; в) петля; г) завиток; д) двойная петля

Как показали исследования (В.А.Сойфер, 2000) пальцевых и ладонных узоров, достоверность определения численных характеристик изображения зависит от качества ДИЛ. В диссертационной работе проведены исследования 52 ДИЛ и выявлено два источника дефектов дерматоглифических изображений: нарушение методики регистрации и биологические особенности гребешковой кожи ладони. Дефекты, обусловленные нарушением методики регистрации, представляют собой залипание папиллярных гребней, возникающее при наличии влаги на поверхности кожи, и непропечатки, появляющиеся при отсутствии контакта гребней с чувствительной поверхностью устройства регистрации изображений ладони. Биологические особенности гребешковой кожи являются источником неустранимых дефектов дерматоглифических изображений, возникающих из-за низкого профиля гребней, дисплазии папиллярных гребней и исчерченности гребней поперечными складками.

На основе экспериментальных исследований изображений ладони установлены априорные вероятности дефектов различного типа.

Вторая глава посвящена формированию комплекса дерматоглифических характеристик ладони (КДХЛ), обеспечивающего численное описание параметров структуры и формы ладонных узоров.

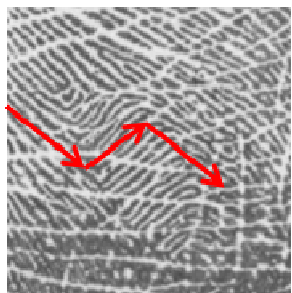
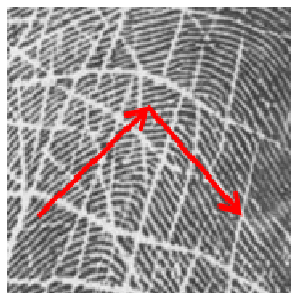
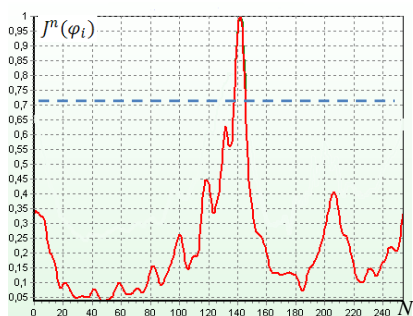
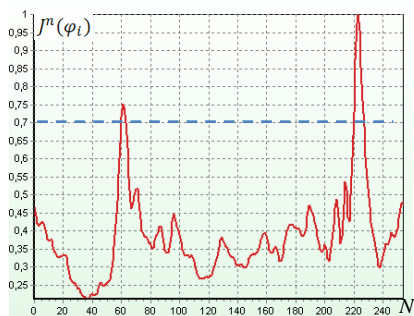
Значение ГС определяется на основе средней пространственной частоты гребней и расстояния между триадиусами (И.В.Карасев, 2004), ЛУ вычисляется аналитически по координатам ладонных триадиусов.

Для создания алгоритма классификации ТЛУ выполнен анализ существующих методов распознавания и классификации папиллярных узоров (И.А.Аполлонова, 1999, И.В.Карасев, 2004, А.А.Хрулев, 2007), который показал целесообразность применения метода поля направлений и интегральных характеристик пространственно-частотного спектра (ПЧС). Тип узоров гребешковой кожи определяется взаимным расположением и типом характерных точек узора, однако особенности ладонных узоров не позволяют выполнить классификацию ТЛУ только на основе типа и расположения характерных точек. Поэтому для классификации типов ладонных узоров необходимо учитывать особенности потоков папиллярных линий, формирующих узор.

Распознавание петлевых, завитковых узоров и двойных петель на поверхности ладони выполняется на основе числа и типа характерных точек узора, определяемых по полю направлений (А.А.Хрулев, 2007), что неприменимо для дуг и переходных узоров. Для разработки алгоритма классификации дуг и переходных узоров введен коэффициент β , характеризующий отношение площадей изображения с преимущественным направлением папиллярных линий и изображения, характеризующегося отклонением папиллярных линий более чем на 70° от преимущественного. На основе полученных данных в качестве признака разделения классов узоров предложено использовать число мод НУПЧС (k_{α}), определяемых по пороговому уровню α (табл. 1).

Таблица 1.

НУПЧС дуги и переходного узора ладони

	Переходной узор	Дуга
Изображение фрагмента ладонного узора		
Нормированный угловой пространственно-частотный спектр изображения фрагмента ладонного узора		

Для определения порогового уровня α исследовано 114 ДИЛ и построены эмпирические зависимости вероятности классификации дуг и переходных узоров от порогового уровня. Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что разделение классов дуг и переходных узоров выполняется по числу мод НУПЧС при пороговом уровне $\alpha = 0,7$ ($k_{0,7}$). При этом переходными являются узоры, имеющие одну моду НУПЧС по пороговому уровню $\alpha = 0,7$, дугами являются узоры, характеризующиеся двумя модами.

При анализе научно-технической литературы установлено, что отсутствует формализованное описание ладонных областей: тенара, гипотенара и межпальцевой области, необходимое для определения ЛЛУ. Для разработки алгоритма определения ЛЛУ введены три антропометрические точки ладони $R(x_R, y_R)$, $U(x_U, y_U)$, расположенные на ульнарном и радиальном краях флексорной складки, и точка $D(x_D, y_D)$, наиболее удаленная от линии флексорной складки (рис. 3 а). Разработана математическая модель границ ладонных областей, обеспечивающая определение ЛЛУ.

Предложенная модель границ ладонных областей позволила также разработать алгоритм классификации ТЛТ на основе взаимного расположения трирадиусов и прямых t , t' , t'' , разделяющих область тенара и гипотенара на три равные части (рис. 3 б).

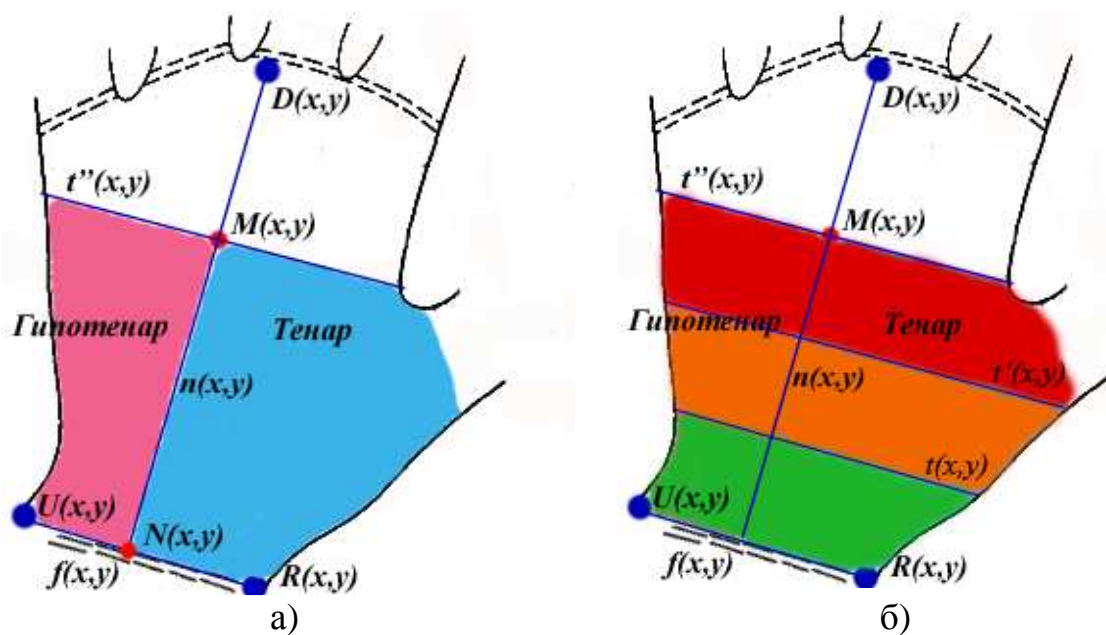


Рис. 3. Области ладонной поверхности
 а) локализация ладонного узора; б) тип ладонного трирадиуса

Результаты проведенных исследований позволили сформировать КДХЛ, включающий количество ядер и трирадиусов (N_{tr} , N_c), число мод нормированного углового пространственно-частотного спектра по пороговому уровню $\alpha = 0,7$ ($k_{0,7}$), координаты характерных точек ладони (x_i , y_i), координаты антропометрических точек ладони $R(x_R, y_R)$, $U(x_U, y_U)$, $D(x_D, y_D)$, среднюю пространственную частоту гребней ($\bar{\nu}$), расстояние между характерными точками (L) (табл. 2).

Таблица 2.
 Комплекс дерматоглифических характеристик ладони

КДПЛ		Взаимосвязь комплекса дерматоглифических параметров и комплекса дерматоглифических характеристик	КДХЛ	
Наименование	Обозначение		Обозначение	Наименование
Тип узора	ТУ	$\langle core \rangle (x_{ci} \ y_{ci})$	N_c	Количество ядер
		$\langle triradius \rangle (x_{tri} \ y_{tri})$	N_{tr}	Количество трирадиусов
		$\left[\frac{1}{J_{max}(\varphi)} J_{\varphi}(\varphi) \right]$	$k_{0,7}$	Количество мод по уровню 0,7 НУПЧС

Продолжение табл. 2

Комплекс дерматоглифических параметров ладони		Взаимосвязь комплекса дерматоглифических параметров и комплекса дерматоглифических характеристик	Комплекс дерматоглифических характеристик ладони	
Наименование	Обозначение		Обозначение	Наименование
Локализация ладонного узора	ЛЛУ	$f(x) = \frac{y_R - y_U}{x_R - x_U} * x + y_U - x_U * \left[\frac{y_R - y_U}{x_R - x_U} \right]$ $n(x) = \frac{x_U - x_R}{y_R - y_U} * x + y_D + x_D * \left[\frac{x_U - x_R}{y_R - y_U} \right]$ $t''_m(x) = \frac{y_R - y_U}{x_R - x_U} * x + \frac{y_n + 2y_D}{3} - \frac{y_R - y_U}{x_R - x_U} * \left[\frac{x_n + 2x_D}{3} \right]$	(x_i, y_i) (x_R, y_R) (x_U, y_U) (x_D, y_D)	Координаты ХТ узора и антропометрических точек ладони
Тип ладонного трирадиуса	ТЛТ	$t_o \{ \langle core \rangle, \langle triradius \rangle \}$	t_o	Тип ХТ
		$\langle triradius \rangle_{кар}: \begin{cases} \dot{x} \in \{P(x', y')\} \\ 0 \leq \dot{y} \leq \frac{2}{9} \dot{y}_D \end{cases}$ $\langle triradius \rangle_{пром}: \begin{cases} \dot{x} \in \{P(x', y')\} \\ \frac{2}{9} \dot{y}_D < \dot{y} \leq \frac{4}{9} \dot{y}_D \end{cases}$ $\langle triradius \rangle_{сред}: \begin{cases} \dot{x} \in \{P(x', y')\} \\ \frac{4}{9} \dot{y}_D < \dot{y} \leq \dot{y}_D \end{cases}$	(x_i, y_i) (x_D, y_D)	Координаты ХТ
Ладонный угол	ЛУ	$\angle t_1 t_2 t_3 = \arctg \frac{\frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}{1 + \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} * \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}$	$t_i(x_i, y_i)$	Координаты ХТ узора
Ладонный гребневой счет	ГС	$RC = \bar{v} \cdot L$	\bar{v}	Средняя пространственная частота
			L	Расстояние между трирадиусами

В третьей главе представлены результаты разработки биотехнической системы автоматизированных дерматоглифических исследований ладони, сформулированы показатели назначения, разработана структурно-функциональная схема биотехнической системы.

Биотехническая система автоматизированных дерматоглифических исследований должна обеспечивать:

- регистрацию полноразмерных изображений ладони;
- обработку и хранение данных исследований, формирование отчетов с результатами исследований;
- время проведения исследований не более 15 минут;
- определение КДХЛ.

В процессе формирования требований к устройству регистрации полноразмерных изображений ладоней, вычислительным и программным средствам биотехнической системы и согласования биологической и технической частей системы выполнен анализ физических, структурных и семантических свойств изображений ладони, исследованы 128 ладоней и их изображений и установлено, что устройство регистрации ДИЛ должно иметь следующие характеристики: пространственное разрешение должно составлять не менее 18 мм^{-1} , окно регистрации – не менее $130 \times 112 \text{ мм} \times \text{мм}$, коэффициент локального контраста – не менее 0,3.

Выполнен анализ объема памяти для хранения цифровых изображений ладони, временных характеристик процесса дерматоглифических исследований ладони и определены характеристики вычислительных и программных средств, входящих в состав биотехнической системы: объем памяти для хранения данных – не менее 170 Гбайт; время обработки данных – не более 200 с; тип архитектуры системы – открытая, модульная, расширяемая; язык программирования – типизированный; модель хранимых данных – реляционная.

Для обеспечения достоверности исследований при визуальной и автоматизированной обработке ДИЛ необходимо обеспечить качество дерматоглифических изображений или исключить области дефектов, в которых наблюдается нарушение потоков гребней.

Для разработки алгоритма обнаружения и классификации дефектов ДИЛ исследованы характеристики 52 дерматоглифических изображений, содержащих дефекты различных типов. Установлено, что дефекты ДИЛ проявляются в локальном нарушении структуры папиллярных линий, характеризующихся размытием границ между гребнями и впадинами узора, и интегральных нарушениях, характеризующихся отсутствием непрерывности потоков папиллярных линий. На основании исследований локальных и интегральных нарушений структуры гребней определены критерии качества ДИЛ, включающие обобщенный контраст изображения (1), среднюю пространственную частоту (2) и линейный коэффициент вариации нормированного углового пространственно-частотного спектра (3).

$$C = \frac{1}{2L_{max}} \sum_{i=0}^{255} |(2(L_i - \bar{L}) + L_{max}) - |(2(L_i - \bar{L}) - L_{max})|| H(L) \quad (1)$$

где L – уровень интенсивности, $H(L)$ – гистограмма уровней интенсивности.

$$v_{cp} = \frac{\sum_{v_{min}}^{v_{max}} J(v_i) v_i}{\sum_{v_{min}}^{v_{max}} J(v_i)} \quad (2)$$

где $J(v)$ – радиальный пространственно-частотный спектр,

$$V = \frac{1}{\overline{J^n(\varphi_k)}} \cdot \frac{\sum_{k=1}^N |J^n(\varphi_k) - \overline{J^n(\varphi_k)}|}{N} \quad (3)$$

где $J^n(\varphi_k) = \frac{J(\varphi_k)}{J_{max}}$ – нормированный угловой пространственно-частотный спектр; J_{max} – максимум углового пространственно-частотного спектра; $J(v_i) = \int_0^\pi \int_{v_i}^{v_i+\Delta v} F(v, \varphi) v dv d\varphi$ – радиальный пространственно-частотный

спектр; $J(\varphi_k) = \int_{v_{min}}^{v_{max}} \int_{\varphi_k}^{\varphi_k + \Delta\varphi} F(v, \varphi) v dv d\varphi$ – угловой пространственно-частотный спектр; $F(v, \varphi)$ – пространственно-частотный спектр изображения ладони.

Эмпирически определены граничные значения критериев качества для различных типов дефектов и изображений без нарушений потоков папиллярных линий, что позволило разработать алгоритм классификации дефектов ДИЛ. Экспериментально установлено, что вероятность классификации дефектов, обусловленных нарушением методики регистрации изображений, составляет не менее 0,80; вероятность классификации дефектов, обусловленных биологическими особенностями гребешковой кожи, – не менее 0,78.

Предложенные критерии качества ДИЛ позволяют обнаруживать и классифицировать дефекты изображений ладони, что обеспечивает возможность маскирования областей дефектов для повышения достоверности результатов измерений структуры и формы дерматоглифических изображений.

В четвертой главе приведены результаты создания и испытания макета аппаратно-программного комплекса автоматизированных дерматоглифических исследований ладони (АПК АДИЛ) и результаты апробации биотехнической системы дерматоглифических исследований ладони для скрининга ИЭ.

В состав макета АПК АДИЛ входят: биометрический сканер ладоней, персональный компьютер, прототип программного обеспечения автоматизированных дерматоглифических исследований ладони.

Для обеспечения регистрации полноразмерных изображений ладони с требуемыми размерами, разрешением и контрастом в составе макета АПК АДИЛ использован биометрический сканер ладоней, обеспечивающий формирование изображения ладони из отдельных фрагментов размером 120×115 мм×мм, с разрешением 19 мм⁻¹ и контрастом более 0,5.

Разработанный в процессе создания макета АПК АДИЛ прототип программного обеспечения выполняет функции регистрации полноразмерных изображений ладони с биометрического сканера, автоматизированное определение КДПЛ на основе численных значений КДХЛ, хранение данных исследований, формирование отчетов и обеспечивает длительность автоматизированных дерматоглифических исследований менее $t_{авт} < 5$ мин., что соответствует предъявленным требованиям и более чем в три раза меньше, чем длительность визуального исследования изображений ладони.

Для проведения исследований разработанных критериев качества ДИЛ и алгоритма классификации дефектов собрано и обработано 196 дерматоглифических изображений.

На сформированной базе ДИЛ, содержащей изображения, полученные бесцветным методом и имеющие дефекты различного происхождения, исследованы разработанные критерии качества ДИЛ. Установлено, что 17% изображений содержат дефекты обусловленные нарушением методики регистрации изображений ладони – залипания и непропечатки, 5% изображений

содержат дефекты, обусловленные биологическими особенностями гребешковой кожи – низкий профиль и дисплазия гребней, поперечная исчерченность кожи. Полученные данные подтверждают эффективность разработанных критериев качества и соответствуют предложенной классификации дефектов ДИЛ.

Для проверки адекватности разработанного КДХЛ параметрам КДПЛ и эффективности разработанных критериев качества исследована вероятность классификации ТЛУ, ЛЛУ и ТЛТ на верифицированной выборке из 196 дерматоглифических изображений с дефектами и после применения алгоритма оценки качества (табл. 3).

Таблица 3.

Вероятность классификации дерматоглифических параметров на основе разработанного алгоритма обработки ДИЛ

Тип ДИЛ	Вероятность классификации										
	ТЛУ					ЛЛУ			ТЛТ		
	Дуга	Переходный узор	Петля	Завиток	Двойная петля	Тенар	Гипотенар	Межпальцевая область	Карпальный	Срединный	Центральный
С дефектами	0,92	0,88	0,93	0,92	0,93	0,91	0,89	0,88	0,93	0,92	0,91
Без дефектов	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99

Эффективность спроектированной биотехнической системы дерматоглифических исследований ладони для скрининга ИЭ подтверждена результатами исследований 96 пациентов с ИЭ и 115 практически здоровых людей. На созданном макете аппаратно-программного комплекса выполнена оценка вероятности обнаружения ИЭ на основе автоматизированных дерматоглифических исследований ладони.

В результате апробации созданного макета АПК АДИЛ, установлено, что вероятность обнаружения наследственной предрасположенности к ИЭ на основе автоматизированных дерматоглифических исследований ладони составляет 0,86; вероятность ошибочного обнаружения ИЭ у практически здоровых людей составила 0,21.

Полученные результаты подтверждают целесообразность и эффективность применения автоматизированных дерматоглифических исследований ладони и созданного макета АПК АДИЛ в практике медико-генетического консультирования для скрининга ИЭ и исследований наследственных и хромосомных заболеваний по параметрам дерматоглифики ладони.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В результате анализа научно-технической литературы и современного состояния проблемы обоснована актуальность и практическая значимость создания биотехнической системы автоматизированных дерматоглифических исследований ладони для скрининга ИЭ.
2. Анализ и обобщение данных научно-технической литературы позволил сформировать КДПЛ для проведения дерматоглифических исследований ладони, в который входят тип и локализация ладонных узоров, тип ладонных трирадиусов, значения гребневого счета и ладонных углов между трирадиусами.
3. В результате экспериментальных исследований особенностей потоков папиллярных линий различных типов узоров, локализации узоров и трирадиусов на поверхности ладони разработан КДХЛ, включающий количество и тип характерных точек, число мод НУПЧС, координаты характерных и антропометрических точек ладони, среднюю пространственную частоту гребней, расстояние между характерными точками, адекватный КДЛП для скрининга ИЭ.
4. На основе экспериментальных исследований интегральных характеристик ПЧС дуг и переходных узоров установлено, что для классификации типов ладонных узоров необходимо использовать характеристику НУПЧС – число мод по пороговому уровню $\alpha = 0,7$.
5. На основе геометрических исследований изображений ладони, содержащих область тенара, гипотенара и межпальцевую область, разработан алгоритм для определения границ ладонных областей, позволяющий на основе расположения характерных точек узора и антропометрических точек ладони выполнять классификацию ладонных узоров и определять тип ладонных трирадиусов.
6. Разработан и исследован КДХЛ, адекватный КДПЛ, обеспечивающий численное описание структуры и формы дерматоглифических изображений ладони.
7. Разработаны и исследованы критерии качества ДИЛ, включающие значение обобщенного контраста, среднюю пространственную частоту гребней и линейный коэффициент вариации НУПЧС, позволяющие обнаруживать и классифицировать дефекты изображений ладони, обусловленные нарушением методики регистрации ДИЛ и биологическими особенностями гребешковой кожи, такими как залипания, непропечатка, низкий профиль гребней, дисплазия и поперечная исчерченность.
8. Разработанный алгоритм классификации дефектов и сформированная база изображений, содержащих классифицированные дефекты, позволяют проводить испытания различных устройств регистрации ДИЛ и алгоритмов обработки дерматоглифических изображений.
9. На основе экспериментальных исследований изображений ладони определены значения характеристик устройства регистрации ДИЛ: окно регистра-

ции – не менее 130×112 мм×мм, разрешение – не менее 18 мм⁻¹, контраст – не менее 0,3; вычислительных и программных средств: объем памяти для хранения данных – не менее 170 Гбайт, обработка данных – не более 200 с, тип архитектуры – открытая, модульная, расширяемая, язык программирования – типизированный, модель хранимых данных – реляционная.

10. Разработано программное обеспечение для автоматизированных дерматоглифических исследований, обеспечивающее оценку качества ДИЛ, определение КДХЛ, хранение ДИЛ и результатов дерматоглифических исследований ладони.

11. Апробация созданного макета АПК АДИЛ на верифицированных историях болезни показала эффективность применения автоматизированных дерматоглифических исследований ладони для скрининга ИЭ.

12. Результаты апробации разработанных алгоритмов обработки ДИЛ и вычисления КДХЛ, алгоритмов классификации дефектов ДИЛ и созданного макета, позволяют рекомендовать АПК АДИЛ к применению в центрах медико-генетического консультирования для исследования врожденных и наследственных болезней, профессиональном отборе, в судебно-медицинской экспертизе.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Исследование алгоритма вейвлет-кодирования дерматоглифических изображений / Е.В. Бурлай, А.А. Хрулев, И.Н. Спиридонов, В.Н. Рождествин //Биомедицинские технологии и радиоэлектроника М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – №10, С. 16-24.

2. Автоматизированные дерматоглифические исследования наследственных форм эпилепсии /Е.В. Бурлай, И.В. Новикова, В.А. Галченков, Н.В.Птицын, И.Н. Спиридонов //Биомедицинские технологии и радиоэлектроника М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – №10, С. 10-20.

3. Бурлай Е.В., Новикова И.В., Спиридонов И.Н. Метод автоматизированной обработки дерматоглифических изображений ладони //Медико-экологические информационные технологии-2009: сборник материалов XII Междунар. науч.-техн. конф. / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. – С. 197-200.

4. Бурлай Е.В., Новикова И.В., Спиридонов И.Н. Автоматизированные дерматоглифические исследования ладони для выявления идиопатической эпилепсии // Научно-техническая конференция «Медико-технические технологии на страже здоровья». Сборник докладов 19-26 сентября 2009 г., Черногогория,– М.:НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – С. 117-119.

5. Информационная система регистрации, хранения и обработки данных информативных морфогенетических вариантов в практике медико-генетического консультирования /А.А.Хрулев, Е.В.Бурлай, В.А. Галченков, А.А.Бойко, И.Н.Спиридонов //Научно-техническая конференция «Медико-технические технологии на страже здоровья». Сборник докладов 19-26 сен-

- тября 2009 г., Черногория, – М.: НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – С. 126-129.
6. Разработка аппаратно-алгоритмических средств для получения полноразмерных изображений ладони /Е.В. Бурлай, А.А. Хрулев, И.В. Новикова, И.Н. Спиридонов //Фотометрия и ее метрологическое обеспечение – 2008: сборник докладов XVII российской научно-технической конференции, М.: ВНИОФИ, 2008. – С.120-123.
7. Разработка алгоритма автоматизированной оценки комплекса дерматоглифических параметров ладони / Е.В.Бурлай, И.В. Новикова , А.А.Хрулев, И.Н.Спиридонов //Научно-техническая конференция «Медико-технические технологии на страже здоровья». Сборник докладов 28 сентября-05 октября 2008 г., Тунис, г. Монастир, – М.: НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – С. 58-61.
8. Аппаратные и программные средства дерматоглифического исследования для оценки наследственной предрасположенности к психическим заболеваниям/ Е.В. Бурлай, А.А. Хрулев, И.В. Новикова, И.Н. Спиридонов// Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: Доклады 8-ой межд. науч.-техн. конф. Книга 1 – Владимир: ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2008. – С. 120-126.
9. Бурлай Е.В., Хрулев А.А., Спиридонов И.Н. Исследование влияния аддитивного гауссова шума на эффективность алгоритма вейвлет-кодирования дерматоглифических изображений // Научно-техническая конференция «Медико-технические технологии на страже здоровья». Сборник докладов 05-12 октября 2007 г., о.Сицилия (Италия). – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – С. 68-69.