

В.А. Садовничий

МЕХАНОРЕЦЕПТОРНАЯ ТАКТИЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА И ТАКТИЛЬНАЯ ТРАНСЛЯЦИЯ В ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2013

УДК 616-072.1
ББК 53.587
М55

Коллектив авторов под руководством В.А. Садовниченко

Авторы:

Соколов М.Э., Макаровец Н.А., Буданов В.М., Подольский В.Е.

**М55 Механорецепторная тактильная диагностика и тактильная трансляция в эндоскопической хирургии / В. А. Садовнический, М. Э. Соколов, Н. А. Макаровец и др. — М. : Литтерра, 2013. — 224 с. : ил.
ISBN 978-5-4235-0101-3**

В книге представлены результаты, полученные специалистами ряда фундаментальных и прикладных направлений современной науки и техники. Описаны исследования, направленные на решение принципиально новой научной и практической задачи — создание механической системы, реализующей тактильную составляющую человеческих чувств. Представленная работа — первое комплексное исследование, проведенное в этой области.

Разработка тактильного механорецептора и медицинского инструментария с тактильными возможностями — очевидный результат настоящей работы. Но кроме этого открывается исключительная перспектива создания робототехнических хирургических систем, способных в будущем самостоятельно, безопасно и точно выполнять операции.

Монография адресована широкому кругу читателей — студентам механико-математических, биологических, медицинских, технических факультетов, практическим инженерам и врачам, научным сотрудникам исследовательских институтов и преподавателям учебных заведений.

УДК 616-072.1
ББК 53.587

ISBN 978-5-4235-0101-3

© Коллектив авторов, 2013
© ООО «Издательство «Литтерра»,
оформление, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Краткие сведения об авторах | 5 |
| От автора | 7 |
| Список сокращений | 8 |
| Введение | 11 |
| Глава 1. Современные возможности эндоскопической хирургии | 14 |
| 1.1. Основные понятия эндоскопической хирургии | 14 |
| 1.2. Краткий очерк истории развития эндоскопической хирургии | 17 |
| 1.3. Современные возможности эндоскопической хирургии | 21 |
| 1.3.1. Лапароскопическая диагностика и эндохирургия | 21 |
| 1.3.2. Торакоскопическая диагностика и эндоторакальная хирургия | 31 |
| 1.3.3. Эндоскопическая диагностика и лечение заболеваний суставов | 36 |
| 1.3.4. Срочный объективный контроль состояния лимфатических узлов | 41 |
| 1.3.5. Интраоперационные методы ультразвукового исследования | 48 |
| Глава 2. Предпосылки создания тактильной механорецепции и трансляции | 64 |
| Глава 3. Приборы тактильной диагностики | 100 |
| 3.1. Устройства для исследования ткани | 100 |
| 3.2. Математическая модель и физические свойства мембраны | 106 |
| 3.3. Создание эндоскопических приборов тактильной диагностики | 113 |
| 3.5. Создание стационарных приборов тактильной диагностики | 136 |
| 3.6. Создание тактильного дисплея | 152 |
| Глава 4. Экспериментальная апробация основных технических решений | 157 |
| 4.1. Доказательство «теоремы существования» | 157 |
| 4.2. Экспериментальная апробация многокамерного механорецептора | 165 |
| Глава 5. Результаты клинической апробации лечебно-диагностического комплекса | 169 |

| | |
|--|------------|
| 5.1. Стерилизация и подготовка комплекса к интраоперационному исследованию | 169 |
| 5.2. Опыт использования тактильного механорецептора в грудной хирургии | 170 |
| 5.3. Опыт использования тактильного механорецептора в абдоминальной хирургии | 176 |
| 5.4. Возможности использования тактильного исследования при других вариантах патологии | 182 |
| Глава 6. Обработка и анализ информации, полученной при обследовании тактильным механорецептором | 186 |
| 6.1. Программное обеспечение тактильного диагностического комплекса | 187 |
| 6.2. Контроль качества и калибровка | 190 |
| 6.3. Метод автоматизации диагностики | 193 |
| 6.4. Рекурсивные разложения по цепочке систем | 207 |
| Заключение | 218 |

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виктор Антонович Садовничий, ректор МГУ имени М.В. Ломоносова, директор Института человека и ИМИСС МГУ, вице-президент РАН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор

Михаил Эдуардович Соколов, заведующий лабораторией механорецепторной диагностики Института человека, заместитель директора ИМИСС МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор медицинских наук, профессор

Николай Александрович Макаровец, генеральный директор ОАО «НПО «Сплав», доктор технических наук, профессор

Владимир Михайлович Буданов, ведущий научный сотрудник института механики МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат физико-математических наук

Владимир Евгеньевич Подольский, проректор МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор механико-математического факультета МГУ, доктор физико-математических наук

Соавторы глав монографии

А.И. Григорьев, вице-президент РАН, академик РАН, академик РАМН, доктор медицинских наук, профессор

А.Н. Сауров, генеральный директор ГУП «Технологический центр МИЭТ» (г. Зеленоград), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор

Р.Ф. Габидуллина, врач, аспирант МГУ

В.В. Галатенко, кандидат физико-математических наук, доцент механико-математического факультета МГУ

В.М. Староверов, кандидат физико-математических наук, доцент механико-математического факультета МГУ

Ю.Ю. Козорезов, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории механорецепторной диагностики Института человека МГУ

В.А. Олейник, ведущий инженер ОАО «НПО «Сплав»

А.А. Белоусов, заместитель начальника лаборатории ОАО «НПО «Сплав»

Л.В. Октябрьская, начальник сектора лаборатории ОАО «НПО «Сплав»

В.С. Суханов, заведующий лабораторией ГУП «Технологический центр МИЭТ»

Д.В. Гусев, старший научный сотрудник ГУП «Технологический центр МИЭТ»

В.В. Бармин, врач, аспирант МГУ

М.В. Филиппова, врач-эксперт поликлиники №1, аспирант МГУ

Соавторы отдельных разделов монографии

В.К. Агапов, К.В. Агапов, А.А. Акаев, В.В. Александров, А.В. Анохин, В.А. Анохин, А.В. Афонин, О.М. Байкова, А.П. Баранов, А.В. Бернацкий, В.А. Большаков, А.В. Бутенко, Д.П. Ветров, С.И. Волков, А.В. Галатенко, В.В. Гаевский, В.А. Гаркавенко, К.А. Голубина, Г.Н. Голухов, В.В. Гришин, В.С. Денисенко, И.А. Дорошев, В.Э. Дубров, В.А. Ефремин, А.В. Ефремов, Е.Н. Жаворонкова, Б.Г. Завьялов, Н.С. Землянников, Т.В. Зыкова, М.В. Исаева, А.А. Камалов, И.Е. Касперский, Р.А. Кобылин, Д.А. Кропотов, И.В. Кузьмин, И.С. Кусов, С.Е. Ларичев, А.Е. Лебедев, Т.П. Лукашенко, П.А. Мамонов, А.Г. Манвелидзе, Ю.Г. Мартыненко, С.В. Минчук, О.П. Молчанова, Э.Р. Накашидзе, А.А. Октябрьская, В.М. Панарин, И.В. Пантелеев, Е.О. Перецманас, Ю.Л. Перов, О.В. Пикин, Ю.А. Позднышева, И.П. Приходько, Д.К. Сенчик, Л.М. Солодова, В.В. Солодов, К.В. Тихонова, М.М. Трошкин, В.А. Улезько, Е.В. Фарион, Е.Д. Федоров, А.С. Царенко, С.Г. Шаповальянц, В.А. Щенёв, Ю.Н. Юдин.

В монографии использованы материалы и фотографии К. Ohnishi, К. Watanabe, М. Kalos, предоставленные ими при проведении международной тематической конференции «Механорецепторная диагностика и тактильная трансляция» (Москва, 29–30 ноября 2011 г.).

Монография была подготовлена и издана в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Организация производства медицинских и биологических устройств с тактильными возможностями» по договору № 13G36.31.0002 от 7 сентября 2010 г.

Дорогие читатели!

Вашему вниманию предлагается достаточно необычная работа. В ней представлены результаты, полученные специалистами ряда фундаментальных и прикладных направлений современной науки и техники. Наши исследования направлены на реализацию принципиально новой научной и практической задачи: создание механической системы, реализующей тактильную составляющую человеческих чувств. Представленная работа — первое комплексное исследование в этой области.

Человеческий палец и рука — наиболее сложная система из созданных природой. Важнейшие органы чувств — зрение и слух — выполняют исключительно информационную функцию. И только рука, управляемая тренированным мозгом, обладает уникальными диагностическими возможностями, способна выполнять самую сложную работу самостоятельно, управлять любыми механизмами — от наноинструментов до космических кораблей, и повторно, как мы сказали бы сегодня — «в режиме реального времени» информировать мозг о полученном результате.

Создать механизм, обладающий способностью тактильного распознавания, — дерзкая, многогранная, сложная и перспективная задача. Предложенное нами решение стало возможным благодаря прорывам в области вычислительной техники, микроэлектронных технологий, прогрессу в медицинской сфере. Но главное все же в другом. Основой новых технологий, освещенных в настоящей работе, являются фундаментальные достижения современной математики. Многие современные разработки основаны на уже ставших классическими математических моделях, а распознавание тактильных образов построено на математических достижениях второй половины XX и начала XXI в. Поэтому исследование осуществлялось под руководством специалистов Института математических исследований сложных систем, созданного мною совместно с нобелевским лауреатом Ильей Романовичем Пригожиным в 1995 г.

Важно и то, что в работе используется абсолютно новый организационный принцип. С одной стороны, это проектное финансирование. Наш коллектив создан для решения конкретной задачи, появилась возможность привлечь уникальных специалистов из самых разных учреждений. С другой, мы используем сетевой принцип управления, и это позволяет забыть о трудностях внедрения научной идеи в промышленное производство. Разработка ведется одновременно коллективом университета и сотрудниками промышленных предприятий, предприятий микроэлектроники, медицинских центров.

В разработке метода тактильной диагностики приняли участие специалисты из различных областей знаний (фундаментальной и вычислительной математики, биологии, механики, эндоскопической хирургии, электроники и микроэлектроники и др.). Понятно, что каждый из них — не специалист в других обсуждаемых областях. Вместе с тем это не сборник независимых статей, поскольку он создан коллективом ученых и практиков, объединившихся для реализации абсолютно новой и очень сложной задачи. Поэтому мы сочли возможным включить в число авторов ученых, внесших наибольший вклад в работу и являющихся специалистами в своих областях.

Кроме того, в работе приняли участие ученые, врачи, инженеры, аспиранты и студенты. Они стали соавторами глав и внесли творческий вклад в решение общей проблемы.

Мы также посчитали возможным указать в качестве соавторов отдельных разделов хирургов, проводивших операции, научных сотрудников, технических исполнителей, аспирантов и студентов, принимавших участие в решении отдельных уникальных задач комплексного проекта.

Разработка тактильного механорецептора и медицинского инструментария с тактильными возможностями — очевидный результат настоящей работы. Кроме того, появилась хорошая перспектива создания робототехнических хирургических систем, способных в будущем безопасно и точно выполнять самостоятельные операции.

Работа адресована широкому кругу читателей: студентам механико-математических, биологических, медицинских, технических факультетов, практическим инженерам и врачам, научным сотрудникам и преподавателям учебных заведений и научно-исследовательских институтов.

В.А. Садовничий

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АЦП — аналого-цифровой преобразователь
БП — блок питания
БУ — блок управления
ВУ — выходные усилители
ВУЗИ — внутрисполостное ультразвуковое исследование
ГИСО — гастроинтестинальная стромальная опухоль
ГКБ — городская клиническая больница
ГУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН — Государственное учреждение «Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина Российской академии медицинских наук»
ДД — датчики давления
ДШД — драйвер шагового двигателя
ЗГ — задающий генератор
ИМИСС — Институт математических исследований сложных систем
ИОН — источник опорного напряжения
ИПД — интегральный преобразователь давления
ИПНС — интраперитонимальное наложение сетки
КВ — концевые выключатели
КМОП — комплементарный металлооксидный полупроводник
КПК — карманный персональный компьютер
КТ — компьютерная томография
ЛБД — локальная база данных
ЛГЭ — левосторонняя гемиколэктомия
ЛСК — лапароскопическая
МНИОИ им. П.А. Герцена — Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена
МРТ — магнитно-резонансная томография
МТЭК — медицинский тактильный эндохирургический комплекс
МЭМС — микроэлектромеханические структуры
НИИ СП — Научно-исследовательский институт скорой помощи
НПИ — наибольший предел измерения
НПК — научно-производственный комплекс
ПГЭ — правосторонняя гемиколэктомия
ПК — персональный компьютер
ПО — программное обеспечение
Пт — потенциометр
ПУ — пульт управления

ПЭП — полностью экстраперитонеальная пластика

СБД — стационарная база данных

ТАПБ — трансабдоминальная предбрюшинная пластика

УЗИ — ультразвуковое исследование

УМ — усилитель мощности

УС — усилитель сигнала

УУ — устройство управления

ФГБУ НПК «Технологический центр» МИЭТ — Федеральное государственное учреждение «Научно-производственный комплекс «Технологический центр» Национального исследовательского университета «МИЭТ»

ФИ — формирователь импульсов

ФМБА России — Федеральное медико-биологическое агентство России

ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь

ЦКБ УПД — Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации

ЦНС — центральная нервная система

ЧПУ — числовое программное управление

ШД — шаговый двигатель

ШИМ — широтно-импульсная модуляция

4-DOF (4 degrees-of-freedom) — механизм четырех степеней свободы

CAN (controller area network) — сеть контроллеров

ЕМИ — электромеханический импульс

F — тензометрический однокомпонентный силоизмерительный датчик

FDA (Federal Drug Administration) — Управление по контролю за продуктами и лекарствами США

PDA (personal digital assistant) — «личный цифровой секретарь»

SEA (series elastic actuator) — эластический датчик

TNM (tumor, nodus, metastasis) — Международная классификация стадий развития раковых опухолей (опухоль, узел, метастаз)

UART (universal asynchronous receiver/transmitter) — универсальный асинхронный приемопередатчик

VATS (videoassisted thoracic surgery) — видеоассистированные торакоскопические операции

VTs (videothoracoscopy) — видеоторакоскопия

ВВЕДЕНИЕ

В результате эволюции органы чувств человека обеспечили ему возможность эффективно существовать во внешней среде. Объективная реальность, данная нам в ощущениях, воспринимается как единое целое. При этом органы чувств дополняют друг друга, создавая единую картину мира. Лишение здорового человека того или иного вида восприятия приводит к его дезадаптации даже в привычной среде.

Человек научился документировать свои ощущения. Зрительные образы фиксировались в виде наскальных рисунков или кинофильмов, звук — в виде записи на пластинке или электронном носителе. Тактильные же образы до настоящего времени широко не применялись. Более того, даже в такой важной области, как медицина, до сих пор отсутствует сколь-нибудь объективная система, позволяющая описать и запомнить такого рода информацию.

Между тем развитие современной фундаментальной науки позволяет нам не только надеяться на прогресс в этой важнейшей области, но и решить некоторые вопросы объективизации тактильной информации.

Математическая обработка сигнала предусматривает использование не только классических математических (интерполяция, монотонизация, ряды Фурье, методы теории экстремальных задач), но и специально разработанных методов [орторекурсивные разложения по неортогональным переполненным системам всплесков (вейвлетов) и системам подпространств].

Цель настоящей работы — выяснение возможности использования тактильной диагностики в современной эндоскопической хирургии.

Задачи работы

- Обосновать необходимость разработки метода тактильной диагностики для различных направлений эндоскопической хирургии.
- Определить достоинства и недостатки современных тактильных датчиков, используемых в медицинских целях.
- Обозначить основные требования к механорецептору, способному решать важнейшие тактильные диагностические задачи.
- Разработать тактильный механорецептор для эндоскопической хирургии, создать и апробировать его опытные образцы.
- Создать систему применения математических методов обработки объективных результатов тактильной диагностики, разработать программное обеспечение тактильного диагностического комплекса. Изучить возможности применения системы распознавания тактильных образов.

- Предложить систему передачи, централизованного хранения, анализа и защиты получаемой информации, способы консультативной помощи и обучения медицинского персонала
- Продемонстрировать возможность передачи достоверной тактильной информации на человеческую руку.
- Найти перспективные направления использования тактильного механорецептора в других областях медицины и иных сферах человеческой деятельности.
- Определить основные понятия механорецепторной диагностики и тактильной трансляции.

Механорецептор — система, состоящая из эластичной воспринимающей внешнее давление мембраны, прикрывающей одинаковые по объему полости, которые изменяются при контакте с «ощупываемым» объектом. Динамическое измерение давления в каждой из полостей производится дискретным датчиком давления. Аналоговый сигнал при этом усиливается и преобразуется в цифровой.

Программная обработка сигнала осуществляется на компьютере и передается на тактильный дисплей.

Тактильный дисплей — устройство, которое может преобразовать электрический сигнал, динамически поступающий от каждого датчика механорецептора, в механическое изменение «рабочей точки» дисплея. Это изменение способен распознать исследователь. Иными словами, экран дисплея отражает свойства объекта (неоднородность, границы, плотность), ощупываемые тактильным механорецептором.

Тактильная трансляция — передача тактильного ощущения с механорецептора (с помощью математической обработки) на руку исследователя.

Финансирование проектов по созданию приборов тактильной диагностики осуществлялось из следующих источников.

- Междисциплинарный научный проект МГУ (2004–2005 гг.) «Медицинские робототехнические системы с силомоментным ощущением».
- Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Разработка макетного стационарного образца медицинского прибора с тактильным и силомоментным ощущением» (Госконтракт 328/p/5740 от 07.07.2005).
- Комплексный проект Федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт ИМИСС МГУ №02.522.11.2008 от 18.05.2007 «Разработка технологий и создание опытных образцов искусственных тактильных механорецепторов для эндоскопии»).

- ГК №13. G36.31.002 от 07.09.2010 г. «Организация производства медицинских и биологических устройств с тактильными возможностями» (Постановление Правительства РФ №218 от 09.04.2010).

Головной организацией, координирующей выполнение этой работы и проводящей конечный этап всего исследования, является Институт математических исследований сложных систем (ИМИСС) Московского университета им. М.В. Ломоносова. Директор ИМИСС и руководитель работы — академик РАН В.А. Садовничий.