

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202293463 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.01.19(22) Дата подачи заявки
2021.05.25(51) Int. Cl. *A61B 5/313* (2021.01)
A61B 5/296 (2021.01)
A61F 2/72 (2006.01)
A61N 1/36 (2006.01)
A61N 1/372 (2006.01)
B82Y 5/00 (2011.01)

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ ДЛЯ ИМПЛАНТИРУЕМОГО МЫШЕЧНОГО ИНТЕРФЕЙСА

(31) 63/030,778

(32) 2020.05.27

(33) US

(86) PCT/US2021/034095

(87) WO 2021/242775 2021.12.02

(71) Заявитель:
ДЗЕ ДЖОНС ХОПКИНС
ЮНИВЕРСИТИ (US)

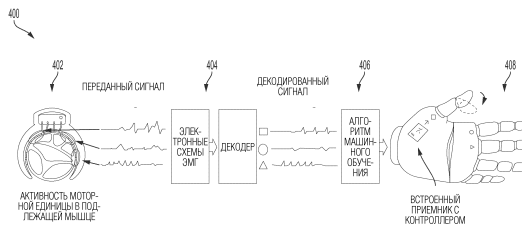
(72) Изобретатель:

Гласс Коннор, Тхакор Нитиш В.,
Туффаха Сами, Лоу Алексис (US)

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Раскрывается система имплантируемого человеко-машинного интерфейса, которая включает в себя устройство имплантируемого мышечного интерфейса, включающее в себя подложку, содержащую первое множество датчиков и второе множество усилителей, которые получают и усиливают, соответственно, электромиографические (ЭМГ) сигналы, происходящие из моторных единиц под управлением нервных сигналов, характерных для произвольных движений конечностей; и приемопередающее устройство, подсоединенное к первому множеству датчиков, которое передает беспроводным способом сигналы во внешний декодер, который формирует декодированные сигналы, которые имеют отличительные признаки моторных сигналов, характерных для движений моторных единиц, при этом подложка, по меньшей мере, частично охватывает мышцу, из которой происходят ЭМГ сигналы; и приемное устройство, которое использует декодированные сигналы для взаимодействия с внешней системой. Система включает в себя первое множество электродов и второй имплантируемый источник питания, который подводит электростимуляцию к подлежащим тканям и подлежащим сенсорным аксонам с целью сенсорной обратной связи и нейромодуляции.



A1

202293463

202293463

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-576545EA/081

СИСТЕМА И СПОСОБ ДЛЯ ИМПЛАНТИРУЕМОГО МЫШЕЧНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Перекрестная ссылка на родственные заявки

[0001] Для настоящей заявки испрашивается приоритет по предварительной заявке на патент США № 63/030,778, поданной 27 мая 2020 г., которая в полном объеме включена в настоящую заявку посредством ссылки.

Область техники

[0002] Настоящее изобретение относится, в общем, к системе и способу для имплантируемого мышечного интерфейса.

Уровень техники

[0003] Ампутация по-прежнему считается самой крайней мерой для многих, кто лишился функционирования конечностей вследствие повреждения нервов, так как функциональные возможности протезов оставались относительно статическими в течение последних четырех десяткой или более лет. Это частично обусловлено отсутствием эффективной связи между механизмами и нервной системой человека. Ввиду того, что люди не имеют реального способа естественной связи с механизмами, это остается препятствием для прогресса ортопедической и реабилитационной техники в области протезов и экзоскелетов, а также для достижения перспективных результатов вследствие такого прогресса.

Сущность изобретения

[0004] В соответствии с примерами настоящего изобретения раскрывается система имплантируемого мышечного интерфейса. Система имплантируемого мышечного интерфейса содержит подложку, содержащую: первое множество датчиков и второе множество усилителей, которые получают и усиливают, соответственно, электромиографические (ЭМГ) сигналы, происходящие из моторных единиц под управлением нервных сигналов, характерных для произвольных движений конечностей; и беспроводное приемопередающее устройство, электрически соединенное с первым множеством датчиков, которое передает беспроводным способом сигналы во внешний декодер, который формирует декодированные сигналы, которые имеют отличительные признаки моторных сигналов, характерных для движений моторных единиц, при этом подложка, по меньшей мере, частично охватывает мышцу, из которой происходят ЭМГ сигналы; и приемное устройство, которое использует декодированные сигналы для взаимодействия с внешней системой.

[0005] В систему имплантируемого мышечного интерфейса могут быть включены различные дополнительные признаки, в том числе, один или более из следующих признаков. Подложка является гибкой, жесткой или полужесткой. Приемное устройство содержит усилительные компоненты, фильтрующие компоненты, компоненты для беспроводной связи или их комбинации. Подложка, первое множество датчиков, второе

множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство заключены в одном герметизированном корпусе или герметичном покрытии. Система имплантируемого мышечного интерфейса может дополнительно содержать источник питания, который питает энергией первое множество датчиков, второе множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство. Подложка, первое множество датчиков, второе множество усилителей, беспроводное приемопередающее устройство и источник питания заключены в одном герметизированном корпусе или герметичном покрытии. Первое множество датчиков, второе множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство снабжаются внешним питанием посредством электромагнитного, ультразвукового, пьезоэлектрического или оптического источника питания. Сигналы, передаваемые беспроводным приемопередающим устройством, являются аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого множества датчиков или аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого множества датчиков и оцифровываются аналого-цифровыми преобразователями, или зашифрованными сигналами для защищенной связи. Подложка состоит из биосовместимого материала, содержащего полимеры, парилен, пластмассу, эластомеры, силикон, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели или ацеллюлярные матрицы. Подложка состоит из биосовместимых полимеров с проводящими электродами и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT), поли(3,4-этилендиокситиофен)-полистиролсульфонат (PEDOT:PSS) или их комбинации. Внешняя система содержит протез конечности, ортез, экзоскелет, компьютер, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека. Устройство имплантируемого мышечного интерфейса является совместимым с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая неизмененную, васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая ауто трансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат, клеточную культуру, или синтетический заменитель. Подложка содержит первое множество электродов (таких как один или более стимулирующих электродов) или ультразвуковых преобразователей, которые обеспечивают электрическую или ультразвуковую стимуляцию подлежащих сенсорных аксонов для сенсорной обратной связи с протезами конечностей или экзоскелетами.

[0006] В соответствии с примерами настоящего изобретения раскрывается способ

управления внешним устройством с использованием устройства имплантируемого мышечного интерфейса. Способ содержит этап получения сигналов из одного или более датчиков, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерные для раздражения или сокращения подлежащих мышц, при этом один или более датчиков являются осажденными на или встроенными в подложку, которая, по меньшей мере, частично охватывает подлежащие мышцы; и этап приема ЭМГ сигналов электронными схемами усиления и фильтрации, передающими ЭМГ сигналы беспроводным способом посредством имплантированного приемопередатчика; этап передачи ЭМГ сигналов беспроводным способом посредством имплантированного приемопередатчика; этап приема ЭМГ сигналов беспроводным способом посредством внешнего приемника; этап декодирования ЭМГ сигналов, которые приняты, с использованием алгоритма декодирования, который декодирует ЭМГ сигналы в дискретные сигналы управления; и этап использования сигналов управления, которые выделены для манипуляции устройствами на основе алгоритмов машинного обучения, которые сопоставляют сигналы управления с намерением пользователя.

[0007] В систему имплантируемого мышечного интерфейса могут быть включены различные дополнительные признаки, в том числе, один или более из следующих признаков. Подложка состоит из биосовместимых материалов, содержащих полимеры, пластмассу, эластомеры, силикон, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели или ацеллюлярные матрицы. Подложка состоит из биосовместимых полимеров с проводящими электродами и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT) или их комбинации. Внешняя система содержит протез конечности, ортез, экзоскелет, компьютер, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека. Устройство имплантируемого мышечного интерфейса является совместимым с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая неизмененную, васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и иннервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая ауто трансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат, клеточную культуру, или синтетический заменитель.

[0008] В соответствии с примерами настоящего изобретения раскрывается способ установки устройства имплантируемого мышечного интерфейса. Способ установки устройств имплантируемых мышечных интерфейсов содержит этап подготовки места имплантации; и этап закрепления подложки на месте имплантации, при этом подложка

содержит один или более датчиков, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерные для движений подлежащих мышц, причем подложка, по меньшей мере, частично охватывает подлежащие мышцы. Подготовка места имплантации содержит отведение, по меньшей мере, сегмента мышцы подлежащих мышц с окружающей ткани, с сохранением соединения с кровеносными сосудами, которые обеспечивают перфузию; идентификацию нервов, обеспечивающих электростимуляцию, по меньшей мере, сегмента мышцы с использованием одного или более стимулирующих электродов или одного или более ультразвуковых преобразователей; разделение, по меньшей мере, сегмента мышцы, который идентифицирован, чтобы обеспечить денервацию; обертывание дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва или нервного пучка, по меньшей мере, сегментом мышцы, который выделен, или размещение дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва внутри участка сегмента мышцы и закрепление проксимальной культы лигатурой или фибриновым клеем.

Краткое описание чертежей

[0009] Прилагаемые чертежи, которые включены в настоящее описание и являются его частью, иллюстрируют реализации настоящих идей и, вместе с описанием, служат для пояснений принципов изобретения. На чертежах:

[0010] Фиг. 1А – вид в перспективе первой примерной системы имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0011] Фиг. 1В – детальное представление участка, показанного на фиг. 1А.

[0012] Фиг. 1С – вид спереди системы, показанной на фиг. 1А.

[0013] Фиг. 1D – вид спереди системы, показанной на фиг. 1А.

[0014] Фиг. 1Е – другой вид спереди системы, показанной на фиг. 1А.

[0015] Фиг. 2А – вид спереди второй и третьей примерной системы имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0016] Фиг. 2В – вид сзади системы, показанной на фиг. 2А.

[0017] Фиг. 2С – детальное представление системы, показанной на фиг. 2А.

[0018] Фиг. 2D – другой вид системы, показанной на фиг. 2А.

[0019] Фиг. 3 – пример электронных компонентов в системе имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0020] Фиг. 4 – представление способа передачи сигналов во внешнее устройство и из него с использованием устройства имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0021] Фиг. 5 – представление способа управления внешним устройством посредством разложения передаваемых сигналов из устройства имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0022] Фиг. 6 – представление способа установки устройства имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0023] Фиг. 7 – изображение протеза, управляемого множеством мышечных единиц

в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0024] Фиг. 8 – изображение протеза с тактильными датчиками, управляемого мышечной единицей в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0025] Фиг. 9 – дополнительный вид устройства, показанного на фиг. 1 или фиг. 2 на культе в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0026] Фиг. 10 – представление ЭМГ сигналов, получаемых тремя отдельными ЭМГ датчиками в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0027] Фиг. 11А – вид 1100 сверху в перспективе, и фиг. 11В является видом 1102 сбоку ЭМГ блока в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0028] Фиг. 12 – изображение ЭМГ устройства с гибкой растяжимой полимерной матрицей электродов в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0029] Фиг. 13 – изображение ЭМГ устройства с гибкой растяжимой сетчатой матрицей электродов в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0030] Фиг. 14А – изображение руки, на котором пунктирная линия показывает линию ампутации в соответствии с примерами настоящего изобретения. Фиг. 14В представляет секцию руки, показанной на фиг. 14А, с нервными волокнами, показанными с обернутым вокруг гибким беспроводным устройством в соответствии с примерами настоящего изобретения. Фиг. 14С представляет сегмент мышечного волокна, которое реагирует на активацию нервного волокна и имеет подсоединенное кровоснабжение в соответствии с примерами настоящего изобретения. Фиг. 14D представляет сегмент мышечного волокна, показанного на фиг. 14С, с гибким беспроводным устройством (например, невральной оболочкой), обернутым вокруг сегмент в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0031] Фиг. 15 – примерное применение гибкого беспроводного устройства для управления протезом как верхней, так и нижней конечностей в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0032] Фиг. 16 – примерное применение гибкого беспроводного устройства для протеза руки в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0033] Фиг. 17 – изображение гибкого беспроводного устройства, имплантированного индивидууму без увечья, для управления техническими средствами, которое можно применять для беспроводного управления роботизированным устройством, например, экзоскелетом, в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0034] Фиг. 18 – представление способа подготовки места имплантации в соответствии с примерами настоящего изобретения.

[0035] Следует отметить, что некоторые детали чертежей показаны упрощенными и вычерчены так, чтобы облегчить понимание настоящих идей, а не обеспечивать строгую конструктивную точность, подробности и масштаб.

Подробное описание изобретения

[0036] В общем, настоящее изобретение предлагает систему имплантируемого

мышечного интерфейса, способ управления внешним устройством с использованием устройства имплантируемого мышечного интерфейса и способ установки устройства имплантируемого мышечного интерфейса. В некоторых примерах, устройство имплантируемого мышечного интерфейса может быть собрана из системы ее компонентов из электродов или ультразвуковых преобразователей, электронных схем, беспроводных и других примеров, изготовленных методом трехмерной печати, и может быть выполнено как мышечный интерфейс типа манжеты, который взаимодействует с недавно иннервированными секциями мышцы после перерезки нерва и способен как записывать (посредством одного или более датчиков, например, регистрирующих электродов) сигналы от мышц, так и стимулировать (посредством одного или более стимулирующих электродов или одного или более ультразвуковых преобразователей) мышцы и оказывать влияние на нейронную активность в периферической нервной системе и управлять работой протезов. Устройство имплантируемого мышечного интерфейса можно применять для контроля ЭМГ сигналов, которые возникают вследствие хирургического вмешательства, примененного для лечения/предотвращения невралгии, возникающей после повреждения нерва, например, травмы одного нерва или экзартикуляции конечности. К тому же устройство имплантируемого мышечного интерфейса можно применять путем использования полученных ЭМГ сигналов, чтобы управлять механизмами или устройствами, например, но без ограничения, протезами конечностей, экзоскелетами или другими вспомогательными средствами или персональными средствами передвижения для лиц с ограниченной подвижностью, такими как мотоколяски для инвалидов. В контексте настоящего изобретения термин «датчик» может означать регистрирующий электрод.

[0037] Фиг. 1А является видом в перспективе первой примерной системы 100 имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения. Фиг. 1В является детальным представлением участка, показанного на фиг. 1А. Фиг. 1С является видом спереди системы, показанной на фиг. 1А. Фиг. 1D является видом спереди системы, показанной на фиг. 1А. Фиг. 1Е является другим видом спереди системы, показанной на фиг. 1А. Фиг. 2А является видом спереди второй и третьей примерной системы 200 имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения. Фиг. 2В является видом сзади системы, показанной на фиг. 2А. Фиг. 2С является детальным представлением системы, показанной на фиг. 2А. Фиг. 2D является другим видом системы, показанной на фиг. 2А. Системы 100 и 200 имплантируемого мышечного интерфейса содержат устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса. Устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса является совместимым с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и иннервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая аутооттрансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат,

клеточную культуру, или синтетический заменитель.

[0038] Устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса содержит первую подложку 104 или вторую подложку 202. Первая подложка 104 и вторая подложка 202 могут быть гибкими, жесткими или полужесткими. Первая подложка 104 является жесткой, и вторая подложка 202 является гибкой. В некоторых примерах первая подложка 104 и/или вторая подложка 202 состоят из биосовместимого материала, содержащего полимеры, пластмассу, эластомеры, силикон, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели, ацеллюлярные матрицы или их комбинации. В некоторых примерах первая подложка 104 и/или вторая подложка 202 состоят из биосовместимых полимеров с проводящими электродами или ультразвуковыми преобразователями и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT), поли(3,4-этилендиокситиофен)-полистиролсульфонат (PEDOT:PSS), другие проводящие полимеры или их комбинации.

[0039] Первая подложка 104 и/или вторая подложка 202 содержат первое множество датчиков 106 и первое множество усилителей 108. Первое множество датчиков 106 получает, и первое множество усилителей 108 усиливает электромиографические (ЭМГ) сигналы, происходящих из моторных единиц под управлением нервных сигналов, характерных для произвольных движений конечностей. Устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса также содержит беспроводное приемопередающее устройство 110, которое электрически соединено с первым множеством датчиков 106, которое передает беспроводным способом сигналы во внешний декодер 112, который формирует декодированные сигналы, которые имеют отличительные признаки моторных сигналов, характерных для движений моторных единиц. Первая подложка 104 и/или вторая подложка 202 по меньшей мере, частично охватывают мышцу, из которой происходят ЭМГ сигналы. В некоторых примерах первая подложка 104 и/или вторая подложка 202, первое множество датчиков 106, первое множество усилителей 108 и беспроводное приемопередающее устройство 110 заключены в одном герметизированном корпусе. Герметизированный корпус будет полностью заключать все компоненты интерфейсного устройства, которые не предназначены для взаимодействия с тканью, например, подложку и датчики, которые могут быть заключены частично, и должен содержать некоторый биосовместимый материал, такой как, но без ограничения, титан, оксид алюминия, оксид циркония или другую керамику. В некоторых примерах первая подложка 104 и/или вторая подложка 202 могут содержать первое множество электродов 114 (или ультразвуковых преобразователей), которые обеспечивают электростимуляцию (посредством одного или более стимулирующих электродов) (или ультразвуковую стимуляцию посредством одного или более ультразвуковых преобразователей) подлежащих сенсорных аксонов для сенсорной обратной связи с протезами конечностей.

[0040] В некоторых примерах устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса содержит источник питания 116, который питает энергией что-то одно или более из первого множества датчиков 106, первого множества усилителей 108, беспроводного приемопередающего устройства 110 или первого множества электродов 114. В некоторых примерах что-то одно или более из первого множества датчиков 106, первого множества усилителей 108, беспроводного приемопередающего устройства 110 или первого множества электродов 114 снабжаются внешним питанием посредством электромагнитного, ультразвукового, пьезоэлектрического или оптического источника питания. Фиг. 3 представляет примерную структурную схему 300 для всех упомянутых электронных компонентов. Сигналы, передаваемые беспроводным приемопередающим устройством 110, могут быть аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого множества датчиков, или аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого множества датчиков и оцифровываются аналого-цифровыми преобразователями, или зашифрованными сигналами для защищенной связи.

[0041] Система 100 имплантируемого мышечного интерфейса содержит также приемное устройство 118, которое использует декодированные сигналы для взаимодействия с внешней системой 120. Приемное устройство 118 может содержать усилительные компоненты и/или фильтрующие компоненты.

[0042] В некоторых примерах внешняя система 120 содержит протез конечности, мотоколяску для инвалидов, компьютер, указатель мыши, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека.

[0043] Фиг. 4 представляет способ 400 управления внешним устройством с использованием устройства имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения. Способ 400 начинается с этапа 402 получения сигналов из одного или более датчиков, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерные для раздражения или сокращения подлежащей мышцы. На фиг. 1 и 2 показано также, что один или более датчиков, например, первое множество датчиков 106, нанесены осаждением на, встроены в подложку или прикреплены к подложке, такой как первая подложка 102 или вторая подложка 202, и, по меньшей мере, частично охватывают подлежащие мышцы. Первая подложка 102 и вторая подложка 202 устройства 102 имплантируемого мышечного интерфейса могут состоять из биосовместимых материалов, содержащих полимеры, пластмассу, эластомеры, силикон, полимид, перилен, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели, ацеллюлярные матрицы или их комбинации. Первая подложка 102 и вторая подложка 202 могут состоять из биосовместимых полимеров с проводящими электродами и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими

биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT) или их комбинации. Устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса может быть совместимым с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и иннервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая ауто трансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат, клеточную культуру, или синтетический заменитель.

[0044] Способ 400 продолжается на этапе 404 приема ЭМГ сигналов электронными схемами усиления и фильтрации, передающими ЭМГ сигналы беспроводным способом посредством имплантированного приемопередатчика. При переходе к фиг. 1 и 2 видно, что ЭМГ сигналы принимаются первым множеством датчиков 106 и усиливаются первым множеством усилителей 108. Способ 400 продолжается на этапе 404 приема ЭМГ сигналов беспроводным способом посредством внешнего приемника. В продолжение примера, беспроводное приемопередающее устройство 110 принимает ЭМГ сигналы и передает их беспроводным способом в приемное устройство 118. Способ 400 продолжается на этапе 406 декодирования ЭМГ сигналов, которые приняты, с использованием алгоритма декодирования, который декодирует ЭМГ сигналы в дискретные сигналы управления. Способ 400 продолжается на этапе 408 использования сигналов управления, которые выделены для манипуляции устройствами на основе алгоритмов машинного обучения, которые сопоставляют множество сигналов управления с намерением пользователя. Например, устройства могут содержать протез конечности, мотоколяску для инвалидов, компьютер, указатель мыши, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека.

[0045] Фиг. 5 представляет способ 500 использования системы имплантируемого мышечного интерфейса для управления таким внешним устройством. В данном примере, ЭМГ сигналы, переданные в результате нейронной активности плечевого сплетения в человека с ампутированной верхней конечностью, принимаются приемным устройством 118 внутри протеза руки. Сигналы декодируются для электронного изменения положения руки. Данный способ 500 может представлять собой однонаправленную систему упреждающего регулирования, например, показанную на этапе 502. В качестве альтернативы, способ 500 может представлять собой систему двухсторонней связи с сенсорной обратной связью, как показано на этапе 504. В двухсторонней системе устройство 102 имплантируемого мышечного интерфейса содержит как беспроводной передатчик 110, так и приемник для приема сигналов из внешних датчиков. Упомянутые сигналы кодируются в форме электростимуляции и подводятся к нервной системе посредством первого множества стимулирующих электродов 114 или одного или более

ультразвуковых преобразователей.

[0046] Фиг. 6 представляет способ 600 установки устройства имплантируемого мышечного интерфейса в соответствии с примерами настоящего изобретения. Способ 600 начинается с подготовки места имплантации, как показано на этапе 602. Например, подготовка места имплантации содержит отведение, по меньшей мере, сегмента мышцы подлежащих мышц с окружающей ткани, с сохранением соединения с кровеносными сосудами, которые обеспечивают перфузию; идентификацию нервов, обеспечивающих электростимуляцию, по меньшей мере, сегмента мышцы; разделение идентифицированного сегмента мышцы, чтобы обеспечить денервацию; обертывание дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва или нервного пучка, по меньшей мере, сегментом мышцы или размещение дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва внутри участка мышцы и закрепление культы лигатурой или фибриновым клеем.

[0047] Способ 600 продолжается на этапе 604 закрепления подложки на месте имплантации. Устройство с предусмотренными отверстиями под лигатуру прикрепляют к искомой ткани и окружающему тканевому ложу посредством, по меньшей мере, двух лигатур под 180 градусов друг от друга на проксимальном и дистальном концах устройства (по меньшей мере, 4 лигатурами в совокупности). Данные лигатуры можно закреплять к мышце, эпиневрью, периневрью, фасции, сухожилию, связке, надкостнице и т.п. Соединительная ткань и местоположение будут зависеть от анатомических требований каждого отдельного пациента. Затем структуру ткань/устройство можно покрыть некоторой защитной биологически разлагаемой оболочкой, включающей в себя, но без ограничения, ксенотрансплантационную кишку, бесклеточные повязки, синтетические повязки. Это будет выполняться для защиты устройства от фиброза и стягивания в процессе заживления. Как также показано на фиг. 1 и 2, подложка, например, первая подложка 104 и вторая подложка 202, содержит один или более датчиков, например, первое множество датчиков 106, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерный для движений подлежащих мышц. Подложка, по меньшей мере, частично охватывает подлежащие мышцы. Беспроводное приемопередающее устройство, например, беспроводное приемопередающее устройство 110, электрически подключено к одному или более датчикам и сопутствующим/интерфейсным электронным схемам, которые передают беспроводным способом ЭМГ сигналы во внешний контроллер, например, приемное устройство 118 и/или внешнюю систему 120.

[0048] На фиг. 7 показан протез, управляемый множеством мышечных единиц в соответствии с примерами настоящего изобретения. В культе 704 показаны три мышечные единицы 702, при этом каждая мышечная единица включает в себя нерв 710 для иннервации мышцы и кровеносный сосуд 708 для васкуляризации мышцы. ЭМГ сигналы принимаются от каждой мышечной единицы с использованием устройства, показанного на фиг. 1 или 2, и усиливаются, фильтруются, усиливаются по мощности и передаются беспроводным способом сопровождающими электронными схемами 712 с

использованием модуля 714 беспроводной связи, чтобы управлять протезом 706.

[0049] На фиг. 8 показан протез с тактильными датчиками, управляемый мышечной единицей в соответствии с примерами настоящего изобретения. Мышечная единица 702 показана в культе 704, при этом мышечная единица включает в себя нерв 710 для иннервации мышцы и кровеносный сосуд 708 для васкуляризации мышцы. ЭМГ сигналы принимаются от мышечной единицы 702 с использованием устройства, показанного на фиг. 1 или 2 и усиливаются, фильтруются, усиливаются по мощности и передаются беспроводным способом сопровождающими электронными схемами 802 с использованием модуля 804 беспроводной связи, чтобы управлять протезом 812 с тактильными датчиками. Стимулирующие датчики 810, прикрепленные к культе 704, обеспечивают сигналы сенсорной обратной связи для пользователя, который носит тактильные датчики 808 на протезе 812 с тактильными датчиками, которые подаются обратно, как показано позицией 806, в устройство, показанное на фиг. 1 или 2, посредством модуля 804 беспроводной связи.

[0050] Фиг. 9 является дополнительным видом устройства, показанного на фиг. 1 или фиг. 2, на культе в соответствии с примерами настоящего изобретения. Мышечная единица 702 показана в культе 704, при этом мышечная единица включает в себя нерв 710 для иннервации мышцы и кровеносный сосуд 708 для васкуляризации мышцы.

[0051] Фиг. 10 представляет обработку сигналов управления на основе ЭМГ сигналов, принятых тремя отдельными ЭМГ датчиками в соответствии с примерами настоящего изобретения. Датчик 1002 выдает ЭМГ1 1004, который является характерным для активности моторной единицы мышцы 1006, на электрод 1. Датчик 1010 выдает ЭМГ2 1012, который является характерным для активности моторной единицы мышцы 1006 на электрод 2. Датчик 1014 выдает ЭМГ3 1016, который является характерным для активности моторной единицы мышцы 1006 на электрод 3. Каждый из ЭМГ1 1004, ЭМГ2 1012 и ЭМГ3 1016 принимается ЭМГ электронными схемами 1018 и декодируется электронными схемами 1020 декодера, чтобы сформировать соответствующие сигналы 1022, 1024 и 1026 управления. Сигналы 1022, 1024 и 1026 управления обрабатываются алгоритмом машинного обучения 1028, чтобы управлять встроенным контроллером 1030 в протезе конечности 1032.

[0052] Фиг. 11А является видом 1100 сверху в перспективе, и фиг. 11В является видом 1102 сбоку, представляющими блок ЭМГ в соответствии с примерами настоящего изобретения. Наконечники электродов 1104 располагают в физическом контакте с мышцей 1106. Герметизированный корпус 1108 включает в себя электронные схемы 1110 (кремниевые чипы или схемы), которые электрически контактируют с электродами 1104.

[0053] На фиг. 12 показано ЭМГ устройство с гибкой матрицей 1200 с металлическими электродами, углеродными волокнами или волоконной сеткой или гибкой растяжимой полимерной матрицей 1200 электродов в соответствии с примерами настоящего изобретения. Гибкая растяжимая полимерная матрица 1200 электродов содержит матрицу электродов 1202, которые заключены в полимерном материале 1204 и

находятся в физическом контакте с мышцей 1206.

[0054] На фиг. 13 показано ЭМГ устройство с гибкой растяжимой сетчатой матрицей 1300 электродов в соответствии с примерами настоящего изобретения. Гибкая растяжимая сетчатая матрица 1300 электродов содержит матрицу электродов 1202, которые включены в сетчатый материал 1302 и находятся в физическом контакте с мышцей 1206.

[0055] В соответствии с примерами настоящего изобретения раскрывается гибкое беспроводное устройство, которое оборачивается вокруг одной или нескольких мышц любого рода или размера. Гибкое беспроводное устройство может налагаться на мышцу, обертываться вокруг, пришиваться или приклеиваться по всей окружности ампутационной культи. Гибкое беспроводное устройство может содержать длинный лист электродов, который имплантируют под кожу и сверху подлежащей мышце. Лист электродов может согласоваться по форме с любой анатомией, так как он является гибким и/или растяжимым. Пока конец листа, который содержит приемник беспроводного питания, остается в пределах некоторого расстояния, порядка нескольких сантиметров, от кожи, как показано, например, на фиг. 14А, фиг. 14В, фиг. 14С и фиг. 14D, остальная часть устройства может настраиваться соответственно любым потребностям отдельного пользователя. Вместо обертывания гибкого листа электродов вокруг отдельной части мышцы, которая была иннервирована и васкуляризирована, гибкий лист электродов можно имплантировать и обернуть вокруг одной или нескольких мышц, которые могли или не могли бы воспринимать какую-либо прямую манипуляцию. В данном примере состояние мышцы не имеет значения. Устройство, содержащее гибкий лист электродов, может снимать сигналы, какой бы мышцей они не формировались, внутри части тела, в которую лист имплантирован, независимо от того, выполнялась ли или нет перед этим хирургическая операция (реиннервация мышцы). Устройство может согласоваться по форме с любой анатомией, чтобы регистрировать электрическую активность подлежащей мышцы требуемым образом.

[0056] На фиг. 14А показана рука с пунктирной линией 1402, отображающей линию ампутации. На фиг. 14В представлена ампутационная культя, показанная на фиг. 14А, с нервными волокнами 1404, 1406 и 1408, изображенными с гибким беспроводным устройством 1410, обернутым вокруг частей мышцы, в которую были имплантированы нервные волокна. На фиг. 14С показан сегмент мышцы 1412, который реагирует на активизацию имплантированного нервного волокна 1406 и имеет подсоединенное кровоснабжение 1414. На фиг. 14D представлен сегмент мышцы, показанный на фиг. 14С, с гибким беспроводным устройством 1414 (например, невральной оболочкой), обернутым вокруг сегмента. Сегмент мышцы 1412 активизируется соответствующим сигналом аксона и затем принимается гибким беспроводным устройством 1414. Сигналы беспроводного управления передаются из гибкого беспроводного устройства 1414 в протезную часть 1416 или из гибкого беспроводного устройства 1502 во внешнюю линию 1514 связи, который может передавать сигналы в искомый механизм (т.е. протез) 1416.

[0057] Фиг. 18 представляет способ подготовки места имплантации в соответствии с примерами настоящего изобретения. Подготовка места имплантации содержит отведение, по меньшей мере, сегмента мышцы подлежащих мышц с окружающей ткани, с сохранением соединения с кровеносными сосудами, которые обеспечивают перфузию; идентификацию нервов, обеспечивающих электростимуляцию, по меньшей мере, сегмента мышцы; разделение, по меньшей мере, сегмента мышцы, который идентифицирован, чтобы обеспечить денервацию; обертывание дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва или нервного пучка, по меньшей мере, сегментом мышцы, который выделен, или размещение дистального конца проксимальной культы рассеченного нерва внутри участка сегмента мышцы и закрепление проксимальной культы лигатурой или фибриновым клеем.

[0058] На фиг. 15 показано примерное применение гибкого беспроводного устройства для протеза как верхней конечности, так и нижней конечности в соответствии с примерами настоящего изобретения. Приведены вид сверху 1504 и вид снизу 1506 гибкого беспроводного устройства 1502. На виде сверху 1504 показан индуктивный модуль 1508 питания (который может иметь также форму некоторого альтернативного средства передачи энергии, например, пьезоэлектрического ультразвукового устройства сопряжения), и на виде снизу 1506 показаны регистрирующие электроды 1510. Гибкое беспроводное устройство 1502 охватывает мышцу(ы) 1512 в месте, где регистрирующие электроды 1510 принимают сигналы от мышцы 1512. Гибкое беспроводное устройство 1502 активизируется линией 1514 внешнего питания, которая может содержать (но без ограничения) батарею, передатчик мощности, специализированную интегральную схему (ASIC), антенну, и гибкое беспроводное устройство 1502 передает данные беспроводным способом посредством общепринятых средств передачи данных в форме беспроводных потоков 1516 данных во внешнюю линию 1514 или непосредственно в механизм (т.е. протез как верхней, так и нижней конечностей).

[0059] В некоторых примерах несколько имплантатов могут быть помещены в искомую часть тела. Если одного устройства не достаточно для охвата, например, искомой окружности ампутационной культы, то для покрытия необходимой зоны можно имплантировать несколько имплантатов. И в этом случае, участок беспроводного приемника имплантатов остается относительно близко к коже, чтобы они могли получать питание или подзаряжаться через кожу и подлежащие ткани. Каждое устройство может получать питание или подзаряжаться по отдельности по его собственной внешней линии или совместно с другими по одной наложенной катушке (или от альтернативного источника питания, такого как ультразвуковой преобразователь).

[0060] На фиг. 16 показано примерное применение гибкого беспроводного устройства для протеза руки в соответствии с примерами настоящего изобретения. Приведены вид сверху 1604, вид снизу 1606, вид сбоку 1608 гибкого беспроводного устройства 1602. На виде сверху 1604 и виде сбоку 1608 показан модуль 1610 приемопередатчика и батареи, и на виде снизу 1606 и виде сбоку 1608 показаны

регистрирующие электроды 1612. Гибкое беспроводное устройство 1602 охватывает мышцу(ы) 1614 в месте, где регистрирующие электроды 1612 принимают сигналы от мышц(ы) 1614. Гибкое беспроводное устройство 1602 либо снабжается электропитанием в активном режиме, либо заряжается посредством модуля 1610 приемопередатчика и батареи, и гибкое беспроводное устройство 1602 передает беспроводным способом данные из модуля 1616 беспроводного передатчика в форме беспроводного потока данных. Гибкое беспроводное устройство может, прежде всего, непрерывно снабжаться электропитанием посредством чрезкожного индуктивного средства, или данное устройство может периодически подзаряжаться посредством чрезкожного индуктивного средства (или некоторой приемлемой альтернативной схемы питания). Как показано на фиг. 16, предусмотрено два отдельных гибких беспроводных устройства, каждое из которых охватывает отличающуюся группу мышц. На фигуре показан всего лишь один неограничивающий пример. Например, в зависимости от требований, индивидуальной анатомии, например, конкретной конечности или уровня ампутации, возможны только одно гибкое беспроводное устройство или больше двух гибких беспроводных устройств и случаев применения, которые относятся к отдельным пользователям с учетом функциональной потребности для управления конечностью (или другим техническим средством).

[0061] Как описано в настоящей заявке, гибкое беспроводное устройство можно имплантировать физически здоровому (нетравмированному) индивидууму. Гибкое беспроводное устройство можно имплантировать под кожу и соединительную ткань, вокруг мышечных лакун. В таком случае, гибкое беспроводное устройство может регистрировать сигналы от нижерасположенных нормальных мышц и передавать их беспроводным способом из тела для любой определенной цели. Устройство можно имплантировать поверх или вокруг любой мышцы тела, в зависимости от заданного случая применения.

[0062] Как раскрыто в настоящей заявке, гибкое беспроводное устройство может работать с использованием внешних линии/аппаратуры питания, которые удерживаются на месте, при посредстве чрезкожной (проходящей сквозь кожу) магнитной или радиочастотной (беспроводной) линии связи. Внешняя линия связи также может удерживаться на месте с помощью клейкой пленки, сжимаемого материала в виде рукава, одежды или любого другого метода фиксации внешнего объекта к заданному месту на теле. Имплантированное устройство может передавать данные беспроводным способом (с использованием Bluetooth или некоторого другого средства) во внешнюю линию питания, которая находится на поверхности тела. Тогда внешняя линия питания может передавать беспроводным способом информацию в любое синхронизированное устройство (телефон, протез, ортез, экзоскелет и т.п.). Имплантированное устройство может также передавать беспроводным способом информацию непосредственно в синхронизированное устройство без промежуточной линии питания. В некоторых примерах, во внешней линии питания может выполняться в некоторой форме обработка данных перед последующей передачей

данных в синхронизированное(ные) устройство(а). Имплантированная система и внешняя линия питания могут переключать устройство, с которым они синхронизированы, либо независимо друг от друга, либо как один блок, в зависимости от требований пользователя.

[0063] Как раскрывается в настоящей заявке, имплантированное устройство (например, гибкое беспроводное устройство) может также подводить электрический ток в подлежащую ткань посредством электродов, присутствующих на поверхности устройства. Данные электроды могут быть либо теми же самыми электродами, применяемыми для регистрации сигналов от мышц, либо другими электродами, включенными в состав устройства специально для стимуляции. Целью стимуляции является наведение афферентной (направленной к мозгу) нейронной активности, чтобы смягчить боль или создавать ощущения. Возбуждение афферентной нейронной активности можно обеспечивать ультразвуковым способом или электрическим способом. Небольшие ультразвуковые преобразователи можно разместить на поверхности гибкого имплантата, подобно электродам, которые, после этого, могут передавать ультразвуковую энергию в подлежащую ткань, чтобы обеспечивать такой же эффект, как электростимуляция. Электрическую/ультразвуковую стимуляцию можно фокусировать или нацеливать в дискретные места, исходя из конечного эффекта, который желателен. Это можно обеспечивать посредством модуляции параметра стимуляции и пространственно-временной модуляции множественных источников.

[0064] На фиг. 17 показаны одно или более гибких беспроводных устройств, имплантированных сверху мышцы, внутри либо руки 1702, либо ноги 1704 физического здорового индивидуума, которые можно применять для беспроводного управления механизмом/устройством, например, экзоскелетом 1706.

[0065] Вышеприведенное описание является пояснительным, и специалистами в данной области техники могут быть разработаны изменения конфигурации и исполнения. Например, различные пояснительные логические схемы, логические блоки, модули и схемы, описанные в связи с вариантами осуществления, раскрытыми в настоящей заявке, могут быть реализованы или выполняться универсальным процессором, процессором цифровых сигналов (DSP), прикладной специализированной интегральной схемой (ASIC), программируемой логической матрицей (FPGA), криптографическим сопроцессором или другим программируемым логическим устройством, логическим элементом на дискретных компонентах или транзисторной логикой, компонентами дискретных аппаратных средств или любой их комбинацией, предназначенной для выполнения функций, описанных в настоящей заявке. Универсальный процессор может быть микропроцессором, но, в альтернативном варианте, процессор может быть любым обычным процессором, контроллером, микроконтроллером или конечным автоматом. Процессор может быть также реализован в виде комбинации вычислительных устройств, например, комбинации из DSP и микропроцессора, множества микропроцессоров, одного или более микропроцессоров в связи с ядром DSP или любой другой подобной конфигурации.

[0066] В одном или более примерных вариантах осуществления описанные функции могут быть реализованы в аппаратуре, программном обеспечении, микропрограммах или любой их комбинации. В случае программной реализации, методы, описанные в настоящей заявке, могут быть реализованы модулями (например, процедурами, функциями, подпрограммами, программами, стандартными программами, стандартными подпрограммами, модулями, программными пакетами, классами и так далее), которые выполняют функции, описанные в настоящей заявке. Модуль может быть связан с другим модулем или аппаратной схемой посредством передачи и/или приема информации, данных, аргументов, параметров или содержимого памяти. Информация, аргументы, параметры, данные или что-то подобное могут проходить, пересылаться или передаваться с использованием любого подходящего способа, включая совместное использование памяти, передачу сообщений, эстафетную передачу данных, передачу по сети и тому подобное. Программные коды могут сохраняться в блоках памяти и выполняться процессорами. Блок памяти может быть реализован внутри процессора или отдельно от процессора, и в этом случае он может быть соединен с возможностью связи с процессором с использованием различных способов, известных в данной области техники.

[0067] В одном или более примерных вариантах осуществления описанные функции могут быть реализованы в аппаратуре, программном обеспечении, микропрограммах или любой их комбинации. В случае программной реализации, методы, описанные в настоящей заявке, могут быть реализованы модулями (например, процедурами, функциями, подпрограммами, программами, стандартными программами, стандартными подпрограммами, модулями, программными пакетами, классами и так далее), которые выполняют функции, описанные в настоящей заявке. Модуль может быть связан с другим модулем или аппаратной схемой посредством передачи и/или приема информации, данных, аргументов, параметров или содержимого памяти. Информация, аргументы, параметры, данные или что-то подобное могут проходить, пересылаться или передаваться с использованием любого подходящего способа, включая совместное использование памяти, передачу сообщений, эстафетную передачу данных, передачу по сети и тому подобное. Программные коды могут сохраняться в блоках памяти и выполняться процессорами. Блок памяти может быть реализован внутри процессора или отдельно от процессора, и в этом случае он может быть соединен с возможностью связи с процессором с использованием различных способов, известных в данной области техники.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система имплантируемого мышечного интерфейса, содержащая:
подложку, содержащую:

- первое множество датчиков и второе множество усилителей, которые получают и усиливают, соответственно, электромиографические (ЭМГ) сигналы, происходящие из моторных единиц под управлением нервных сигналов, характерных для произвольных движений конечностей; и

- беспроводное приемопередающее устройство, электрически соединенное с первым множеством датчиков, которое передает беспроводным способом сигналы во внешний декодер, который формирует декодированные сигналы, которые имеют отличительные признаки моторных сигналов, характерных для движений моторных единиц,

при этом подложка, по меньшей мере, частично охватывает мышцу, из которой происходят ЭМГ сигналы; и

приемное устройство, которое использует декодированные сигналы для взаимодействия с внешней системой.

2. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой подложка является гибкой, растяжимой, жесткой или полужесткой.

3. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой приемное устройство содержит усилительные компоненты, фильтрующие компоненты, компоненты для беспроводной связи или их комбинации.

4. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой подложка, первое множество датчиков, второе множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство заключены в одном герметизированном корпусе или герметичном покрытии.

5. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, дополнительно содержащая источник питания, который питает энергией первое множество датчиков, второе множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство.

6. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 5, в которой подложка, первое множество датчиков, второе множество усилителей, беспроводное приемопередающее устройство и источник питания заключены в одном герметизированном корпусе или герметичном покрытии.

7. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой первое множество датчиков, второе множество усилителей и беспроводное приемопередающее устройство снабжаются внешним питанием посредством электромагнитного, ультразвукового, пьезоэлектрического или оптического источника питания.

8. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой сигналы, передаваемые беспроводным приемопередающим устройством, являются аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого множества датчиков, или аналоговыми сигналами, которые объединяются из множества каналов от первого

множества датчиков и оцифровываются аналого-цифровыми преобразователями, или зашифрованными сигналами для защищенной связи.

9. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой подложка состоит из биосовместимого материала, содержащего полимеры, парилен полимид, пластмассу, эластомеры, силикон, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели или ацеллюлярные матрицы.

10. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой подложка состоит из биосовместимых полимеров с проводящими электродами и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT), поли(3,4-этилендиокситиофен)-полистиролсульфонат (PEDOT:PSS) или их комбинации.

11. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой внешняя система содержит протез конечности, ортез, экзоскелет, компьютер, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека.

12. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой система имплантируемого мышечного интерфейса является совместимой с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая неизмененную, васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и иннервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая ауто трансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат, клеточную культуру или синтетический заменитель.

13. Система имплантируемого мышечного интерфейса по п. 1, в которой подложка содержит первое множество электродов или ультразвуковых преобразователей, которые обеспечивают электрическую или ультразвуковую стимуляцию подлежащих сенсорных аксонов для сенсорной обратной связи с протезами конечностей или экзоскелетами.

14. Способ управления внешним устройством с использованием устройства имплантируемого мышечного интерфейса, включающий:

получение сигналов из одного или более датчиков, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерные для раздражения или сокращения подлежащих мышц, при этом один или более датчиков являются осажденными на или встроенными в подложку, которая, по меньшей мере, частично охватывает подлежащие мышцы; и

прием ЭМГ сигналов электронными схемами усиления и фильтрации, передающими ЭМГ сигналы беспроводным способом посредством имплантированного приемопередатчика;

передачу ЭМГ сигналов беспроводным способом посредством имплантированного приемопередатчика;

прием ЭМГ сигналов беспроводным способом посредством внешнего приемника;

декодирование ЭМГ сигналов, которые приняты, с использованием алгоритма декодирования, который декодирует ЭМГ сигналы в дискретные сигналы управления; и

использование сигналов управления, которые выделены для манипуляции устройствами на основе алгоритмов машинного обучения, которые сопоставляют сигналы управления с намерением пользователя.

15. Способ по п. 14, при котором подложка состоит из биосовместимых материалов, содержащих полимеры, пластмассу, эластомеры, силикон, полимерное волокно, фиброин шелка, полимеры для трехмерной печати, полимид, полидиметилсилоксан (PDMS), металлы, гидрогели или ацеллюлярные матрицы.

16. Способ по п. 14, при котором подложка состоит из биосовместимых полимеров с проводящими электродами и токопроводящими дорожками, осажденными на или встроенными в подложку, содержащими биосовместимые металлы, проводящие полимеры, углеродные электропроводящие материалы, содержащие волокна, нанотрубки и графен, золото, платину, полипиррол, поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT) или их комбинации.

17. Способ по п. 14, при котором внешнее устройство содержит протез конечности, ортез, экзоскелет, компьютер, бытовое устройство, удаленный контроллер, игровое устройство, мобильное компьютерное устройство, аудиоустройство, систему дополненной реальности, систему виртуальной реальности или устройство для расширения/повышения возможностей человека.

18. Способ по п. 14, при котором устройство имплантируемого мышечного интерфейса является совместимым с заданной тканью, содержащей мышцы в различных биологических состояниях, включая неизмененную, васкуляризованную и иннервированную, васкуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и денервированную, деваскуляризованную и иннервированную мышцу, или мышечный трансплантат, включая ауто трансплантат, ксенотрансплантат, аллотрансплантат, изотрансплантат, клеточную культуру или синтетический заменитель.

19. Способ установки устройства имплантируемого мышечного интерфейса, при котором:

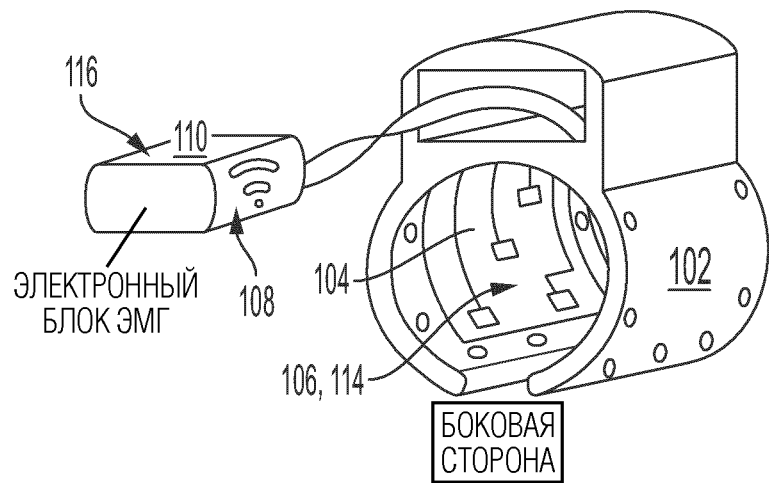
подготавливают место имплантации; и

закрепляют подложку на месте имплантации, при этом подложка содержит один или более датчиков, которые принимают электромиографические (ЭМГ) сигналы, характерные для движений подлежащих мышц, причем подложка, по меньшей мере, частично охватывает подлежащие мышцы.

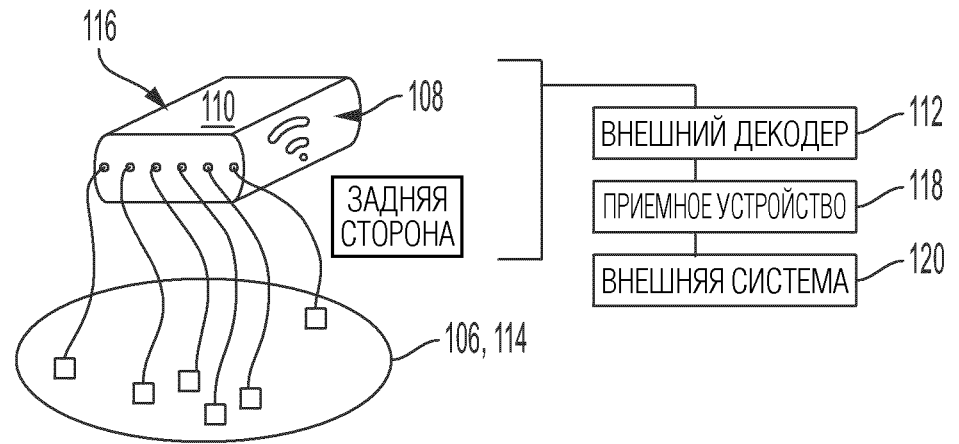
20. Способ по п. 19, при котором при подготовке места имплантации отводят, по меньшей мере, сегмент мышцы подлежащих мышц с окружающей ткани, с сохранением соединения с кровеносными сосудами, которые обеспечивают перфузию;

идентифицируют нервы, обеспечивающие электростимуляцию, по меньшей мере, сегмента мышцы; разделяют, по меньшей мере, сегмент мышцы, который идентифицирован, чтобы обеспечить денервацию; обортывают дистальный конец проксимальной культы рассеченного нерва или нервного пучка, по меньшей мере, сегментом мышцы, который выделен, или размещают дистальный конец проксимальной культы рассеченного нерва внутри участка сегмента мышцы и закрепляют проксимальную культю лигатурой или фибриновым клеем.

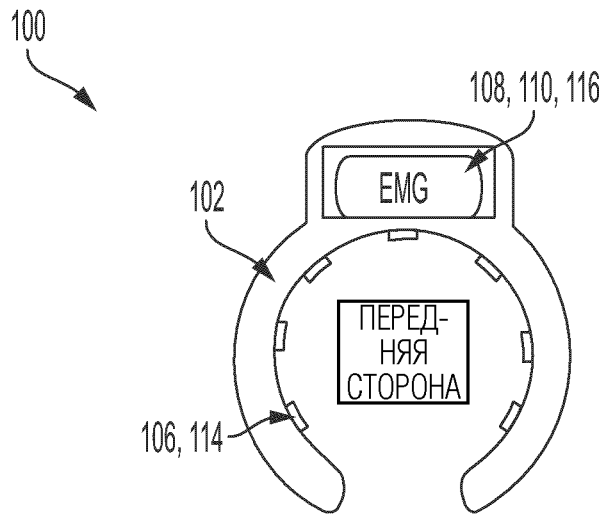
По доверенности



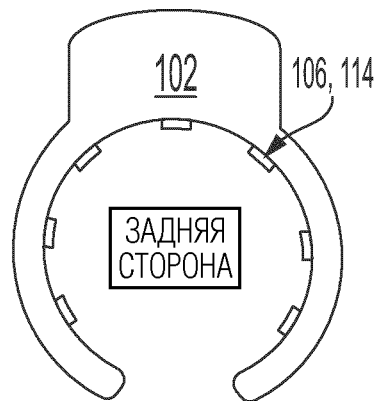
ФИГ. 1А



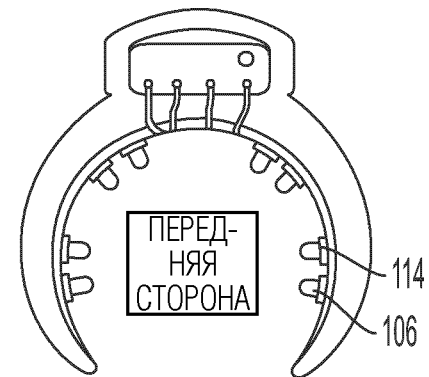
ФИГ. 1В



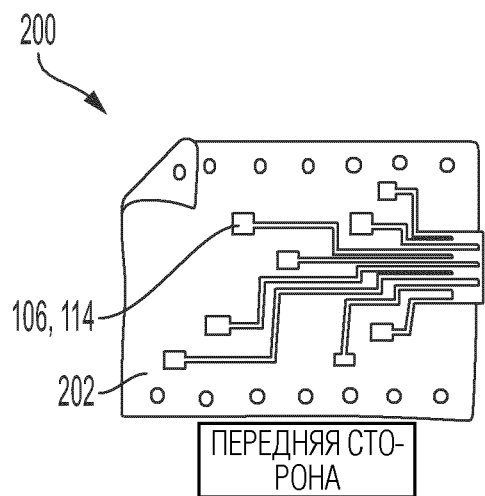
ФИГ. 1С



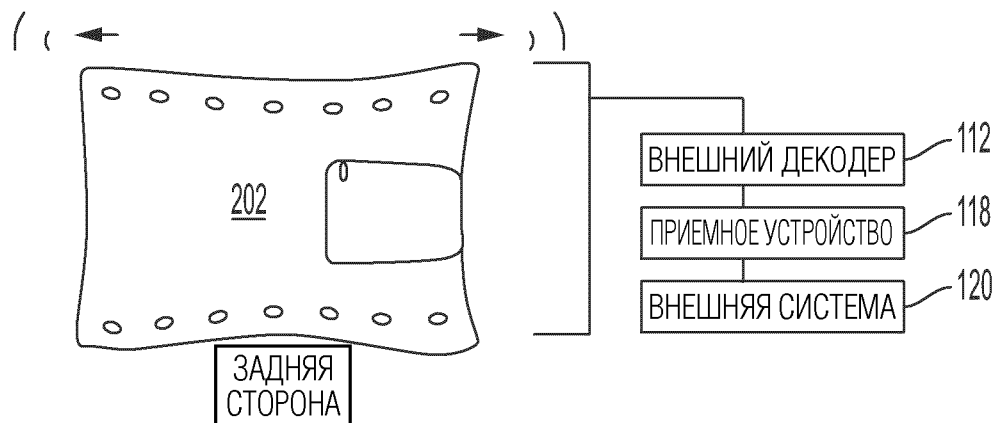
ФИГ. 1D



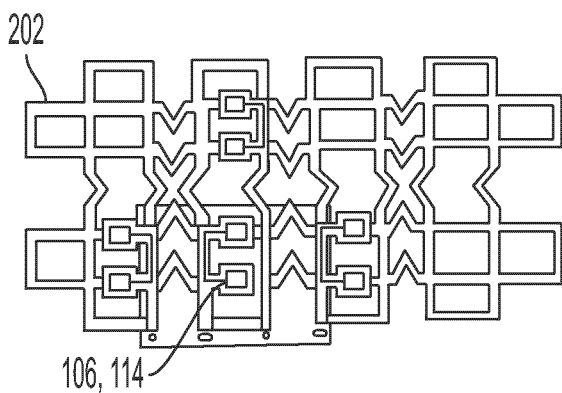
ФИГ. 1Е



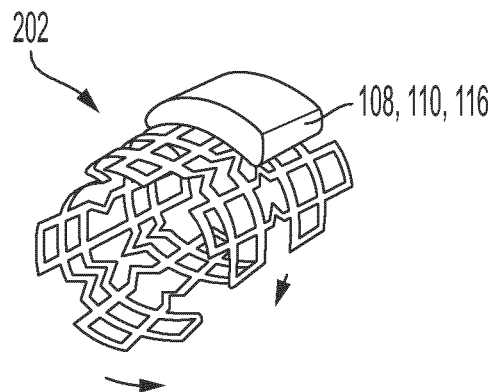
ФИГ. 2А



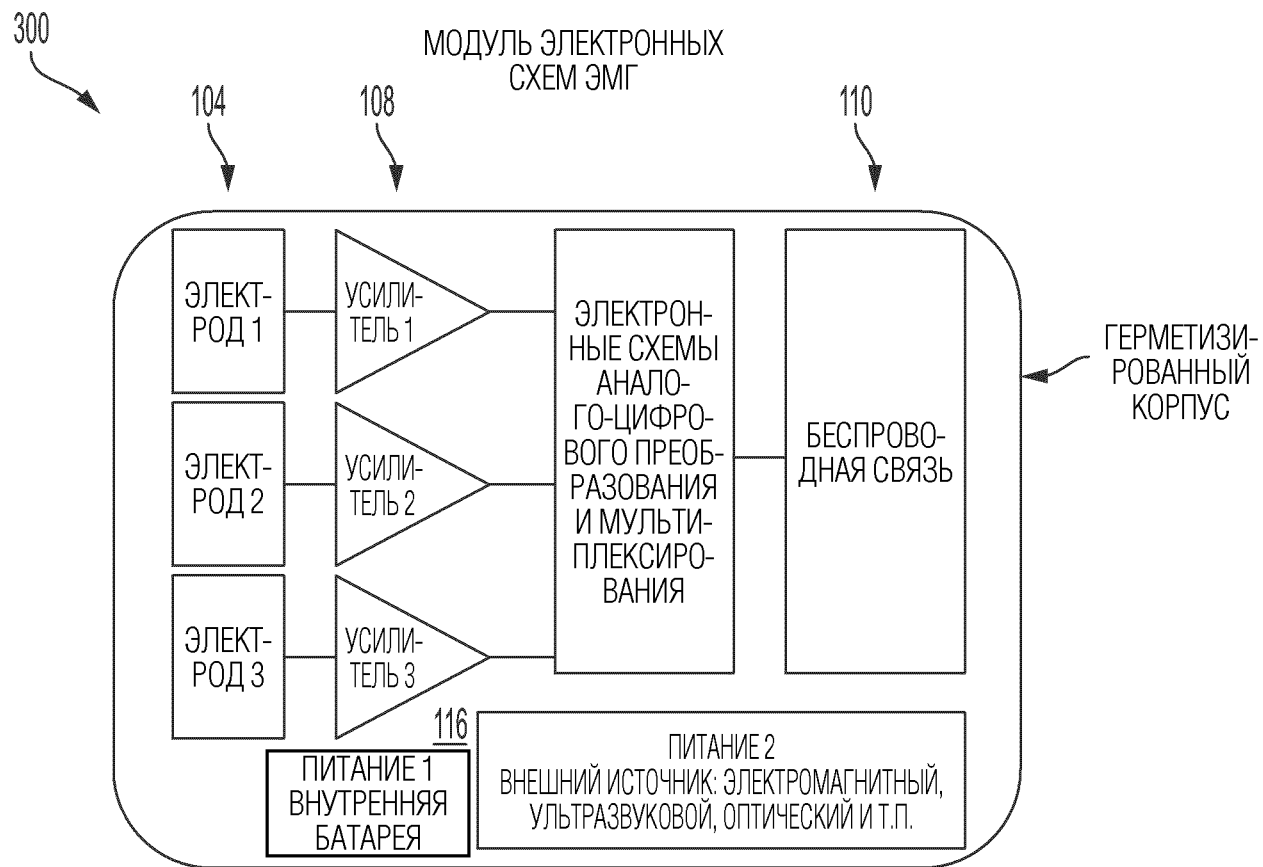
ФИГ. 2В



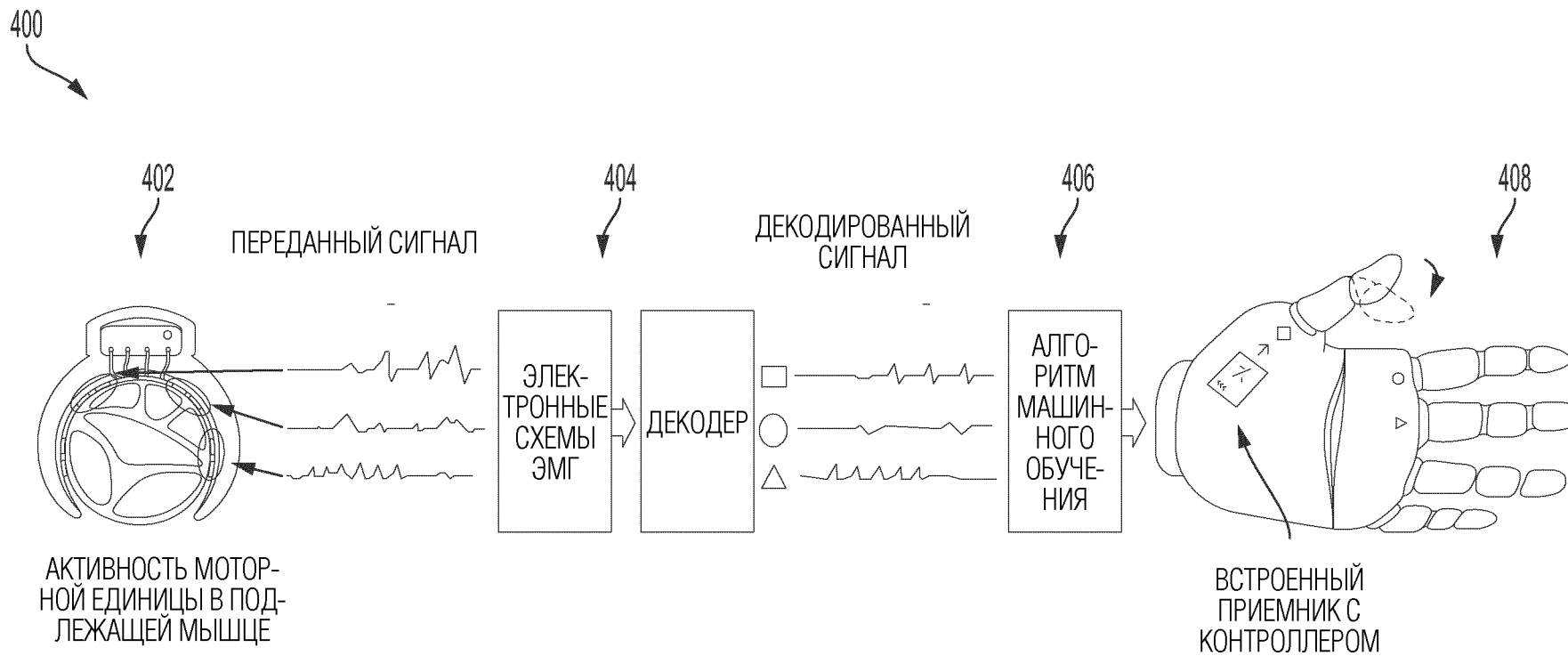
ФИГ. 2С



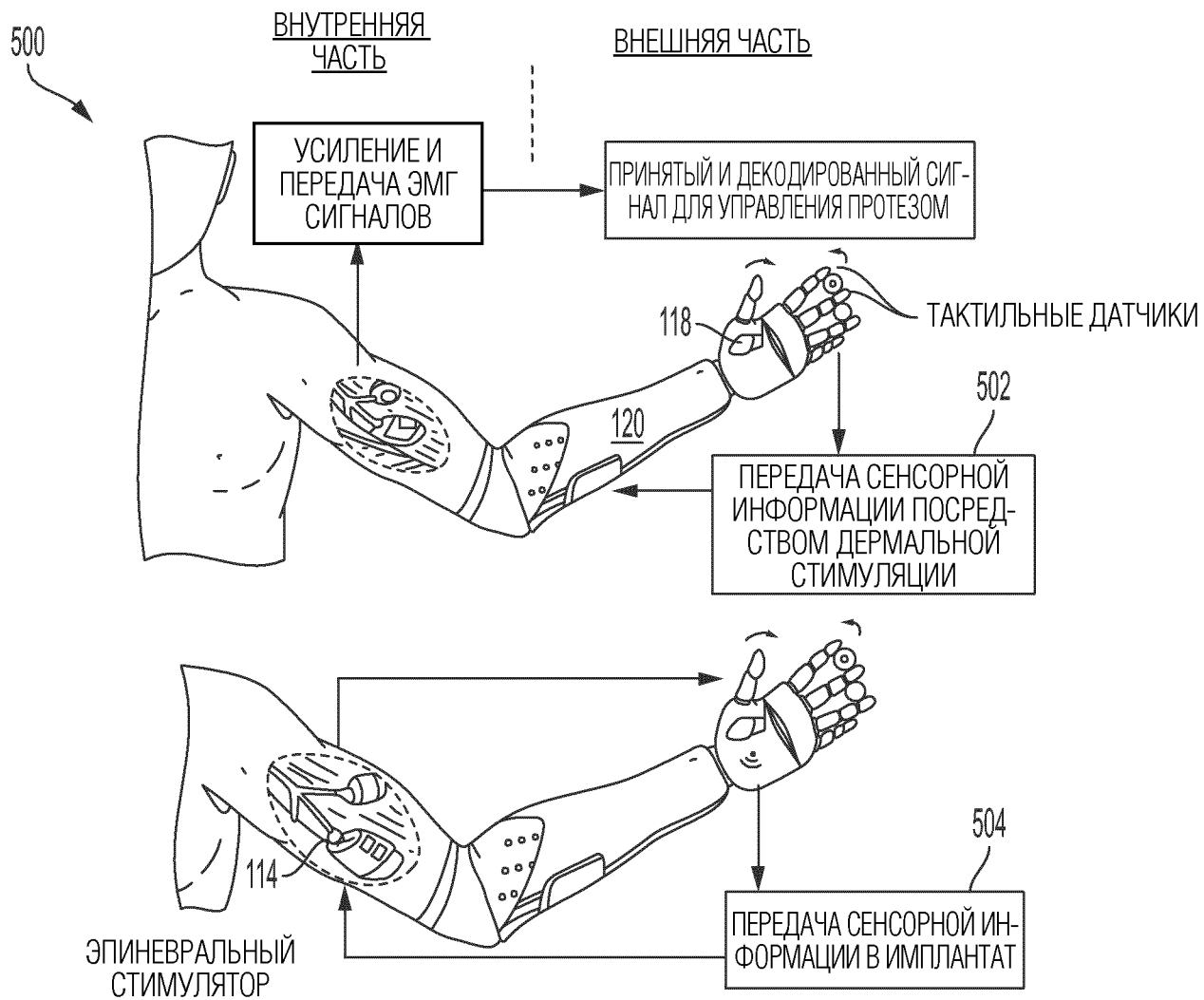
ФИГ. 2D



ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5

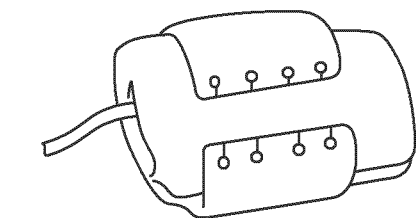
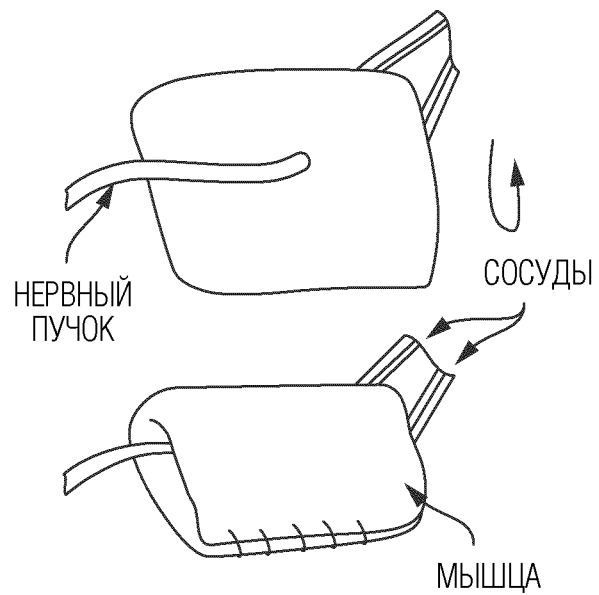
600

ПОДГОТОВКА МЕСТА ИМПЛАНТАЦИИ

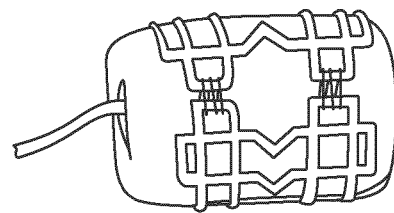
602

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПОДЛОЖКИ НА МЕСТЕ ИМПЛАНТАЦИИ

604

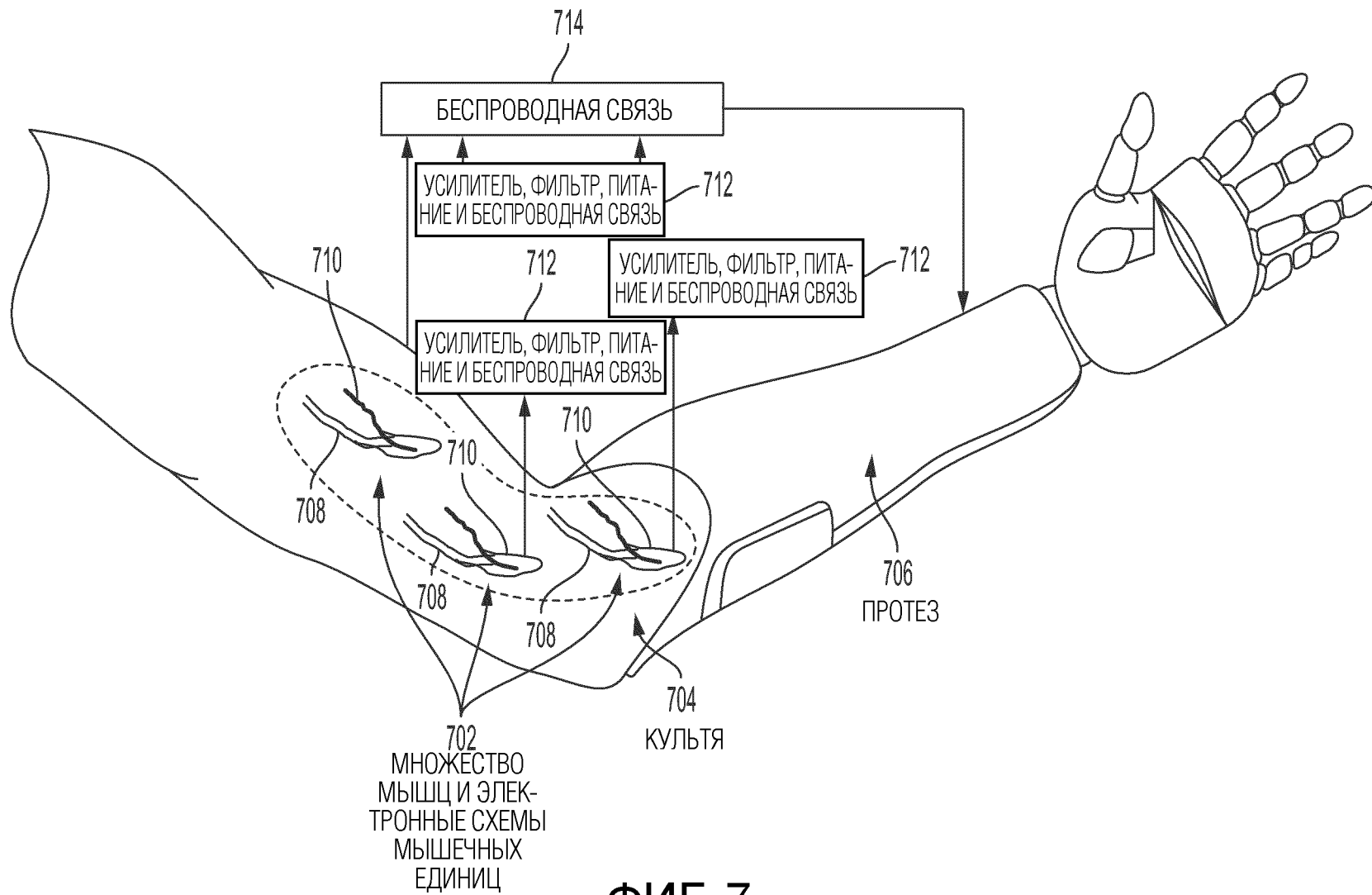


ЛИГАТУРА НА
МЫШЦУ

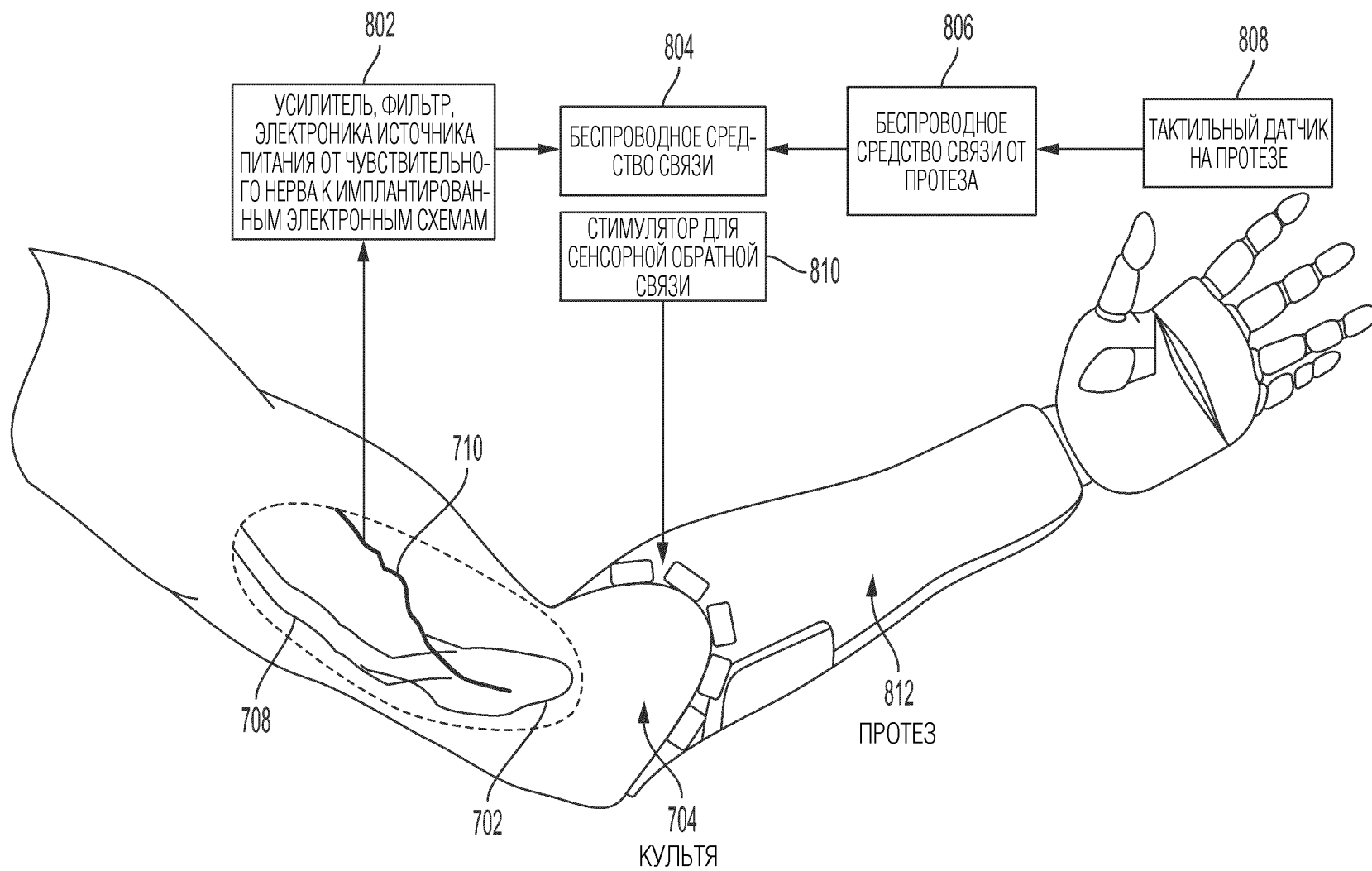


ЛИГАТУРА,
ОБЕРТЫВАЮЩАЯ
ИМПЛАНТАТ

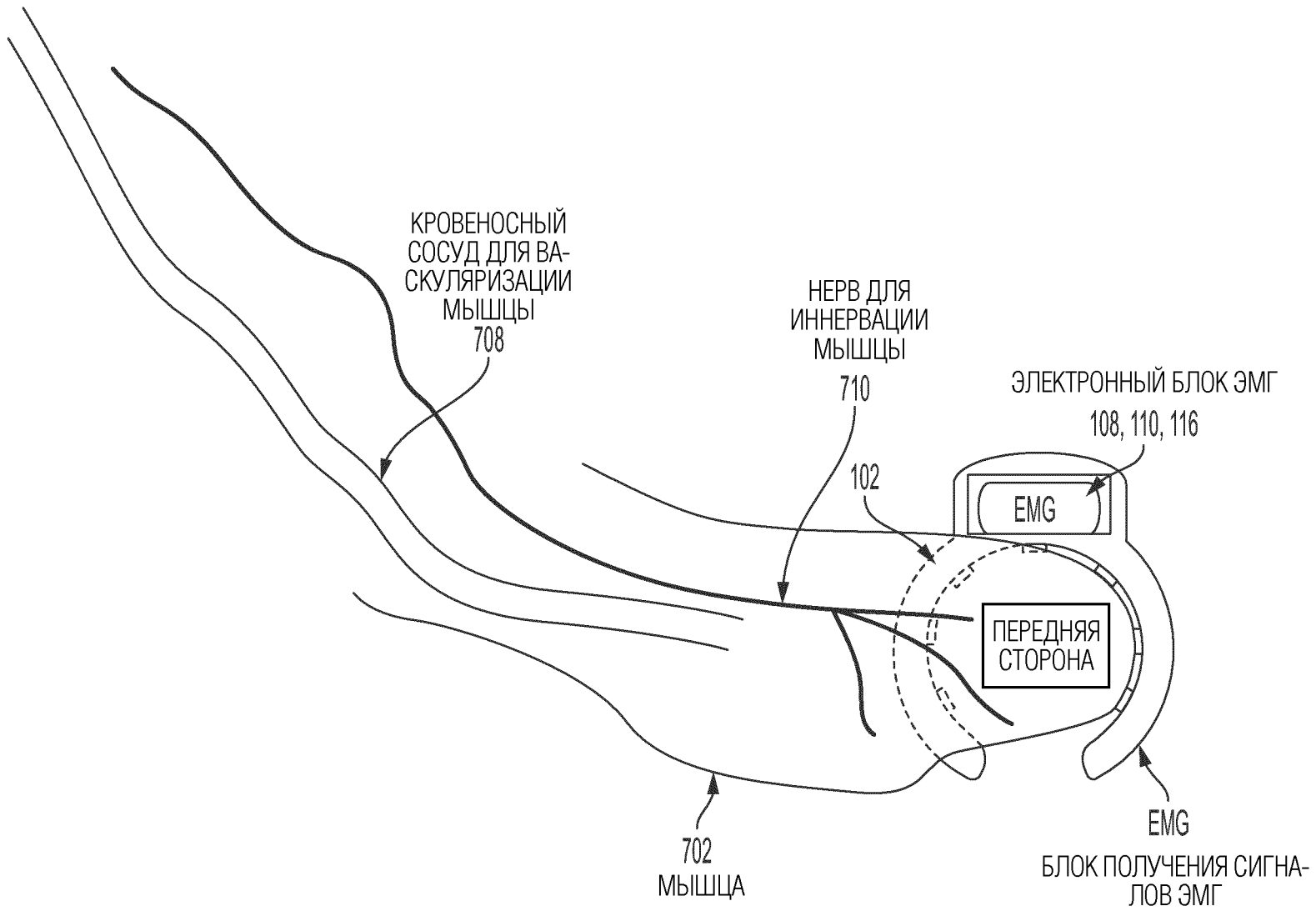
ФИГ. 6



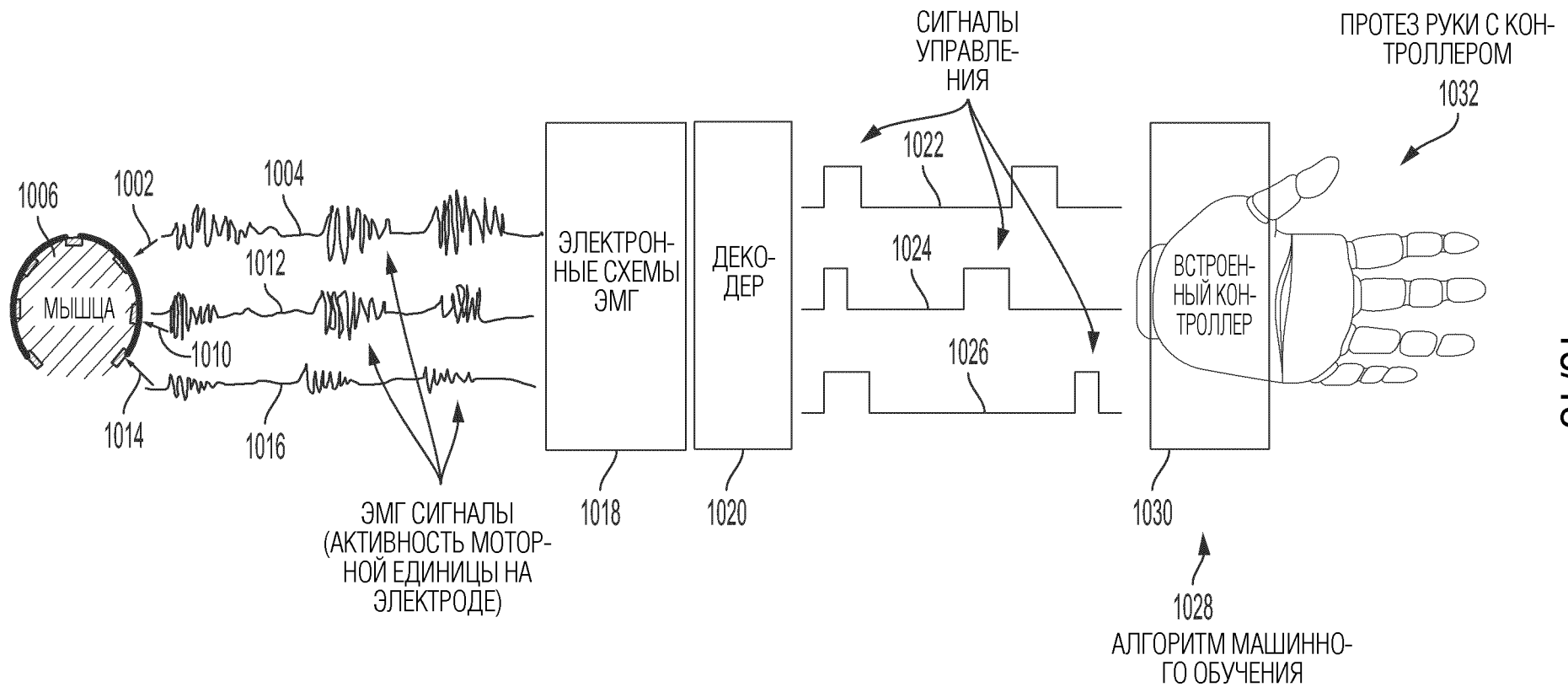
ФИГ. 7



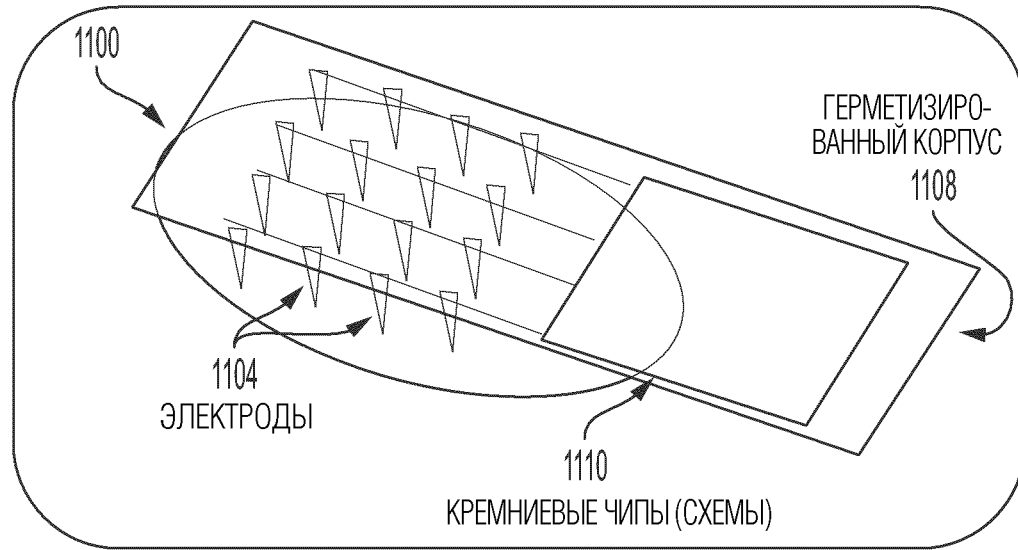
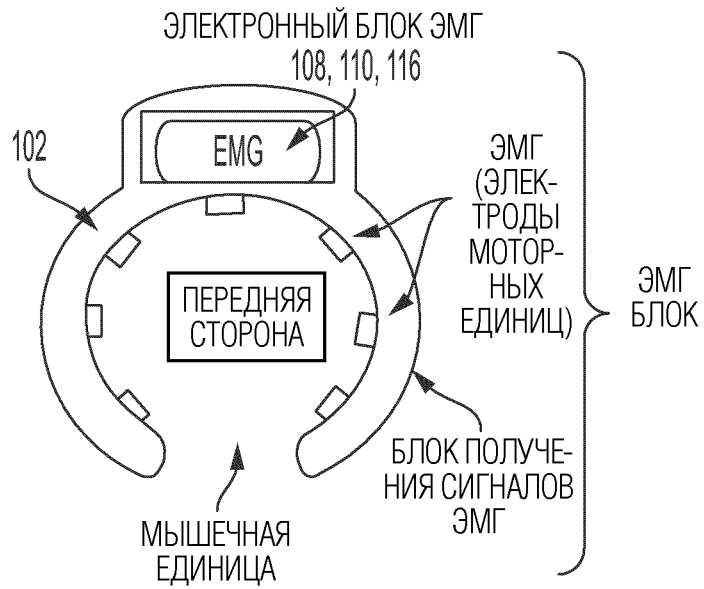
ФИГ. 8



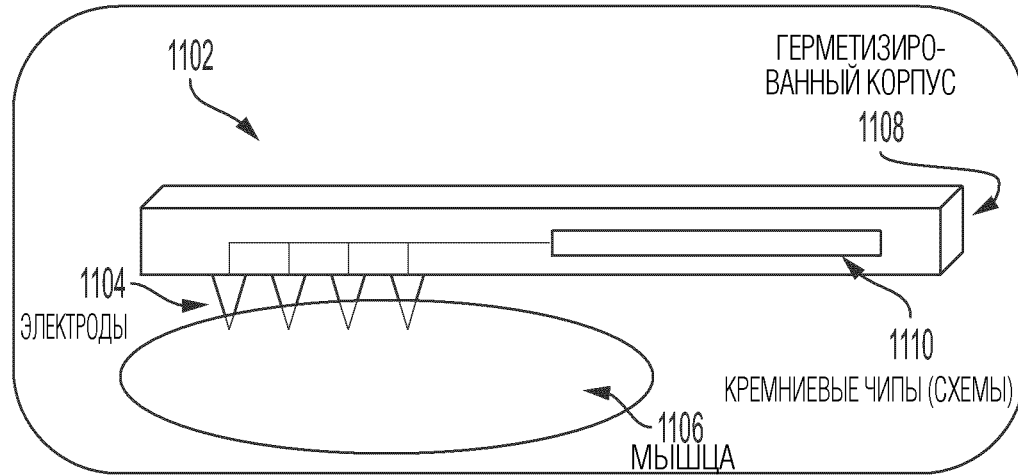
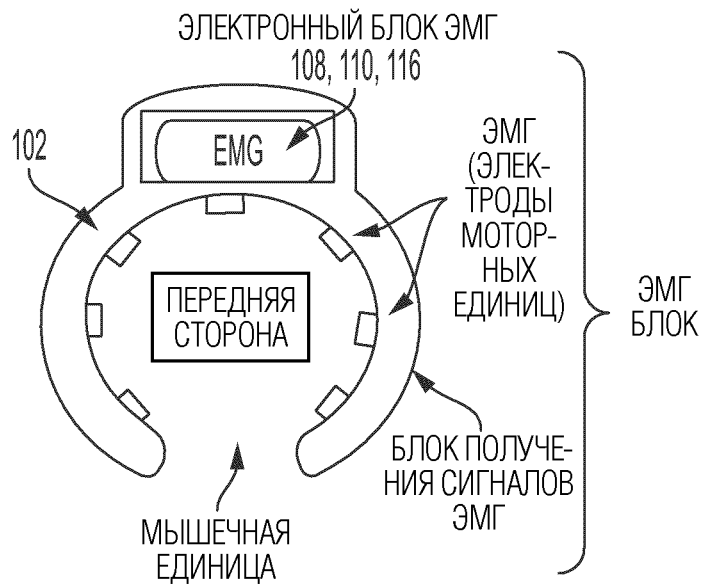
ФИГ. 9



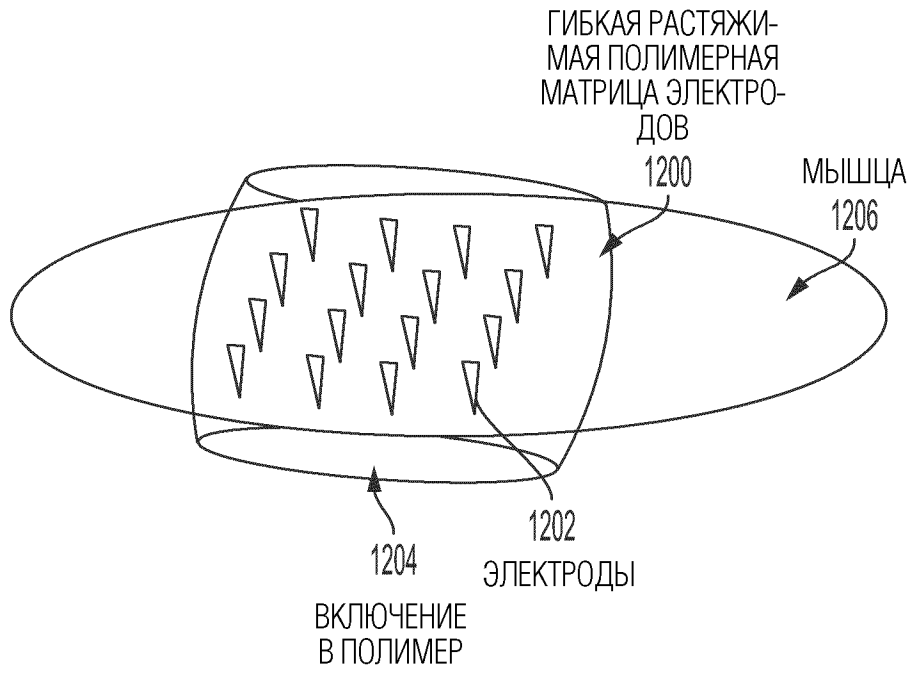
ФИГ. 10



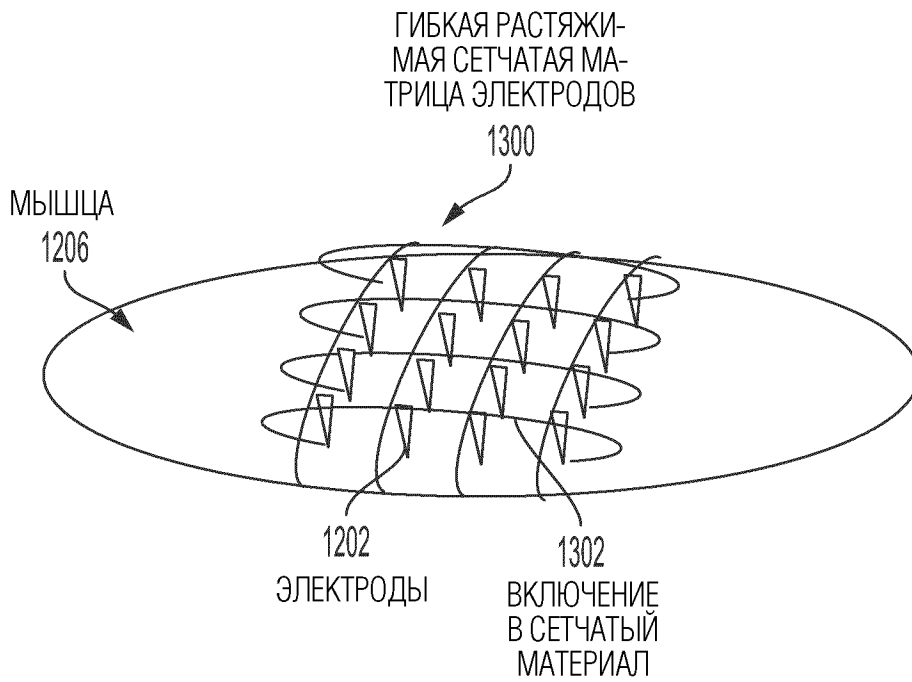
ФИГ. 11А



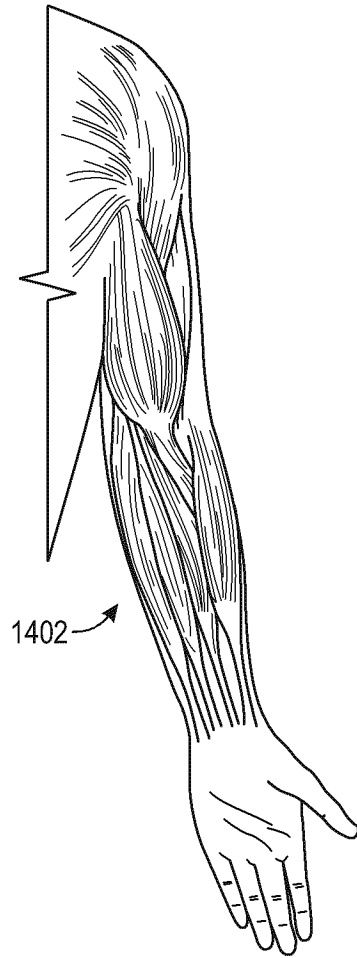
ФИГ. 11В



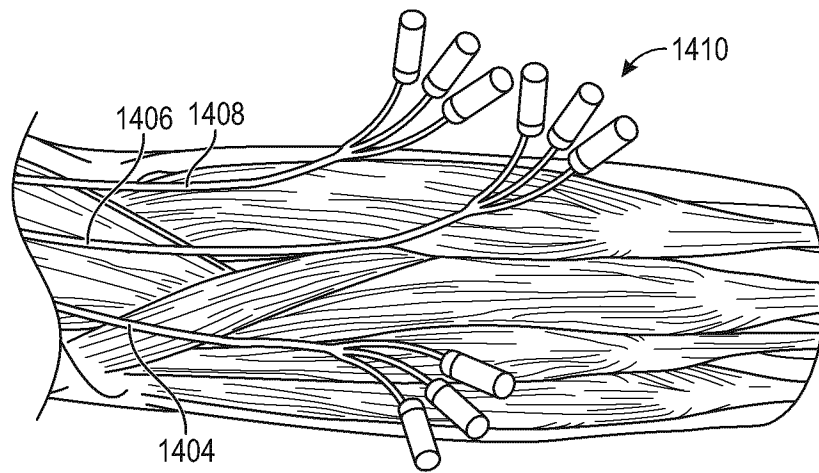
ФИГ. 12



ФИГ. 13

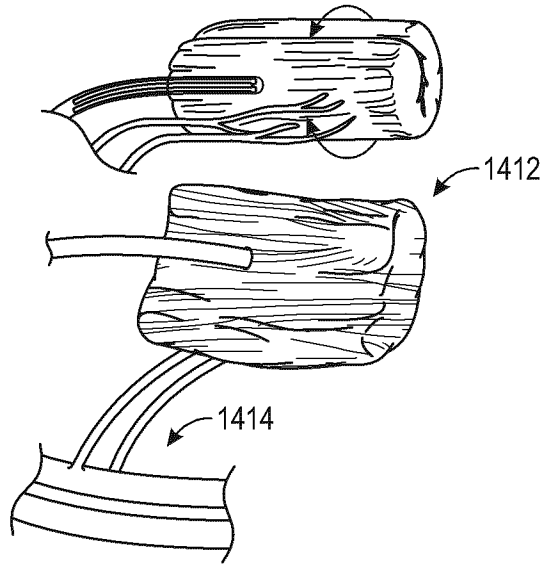


ФИГ. 14А

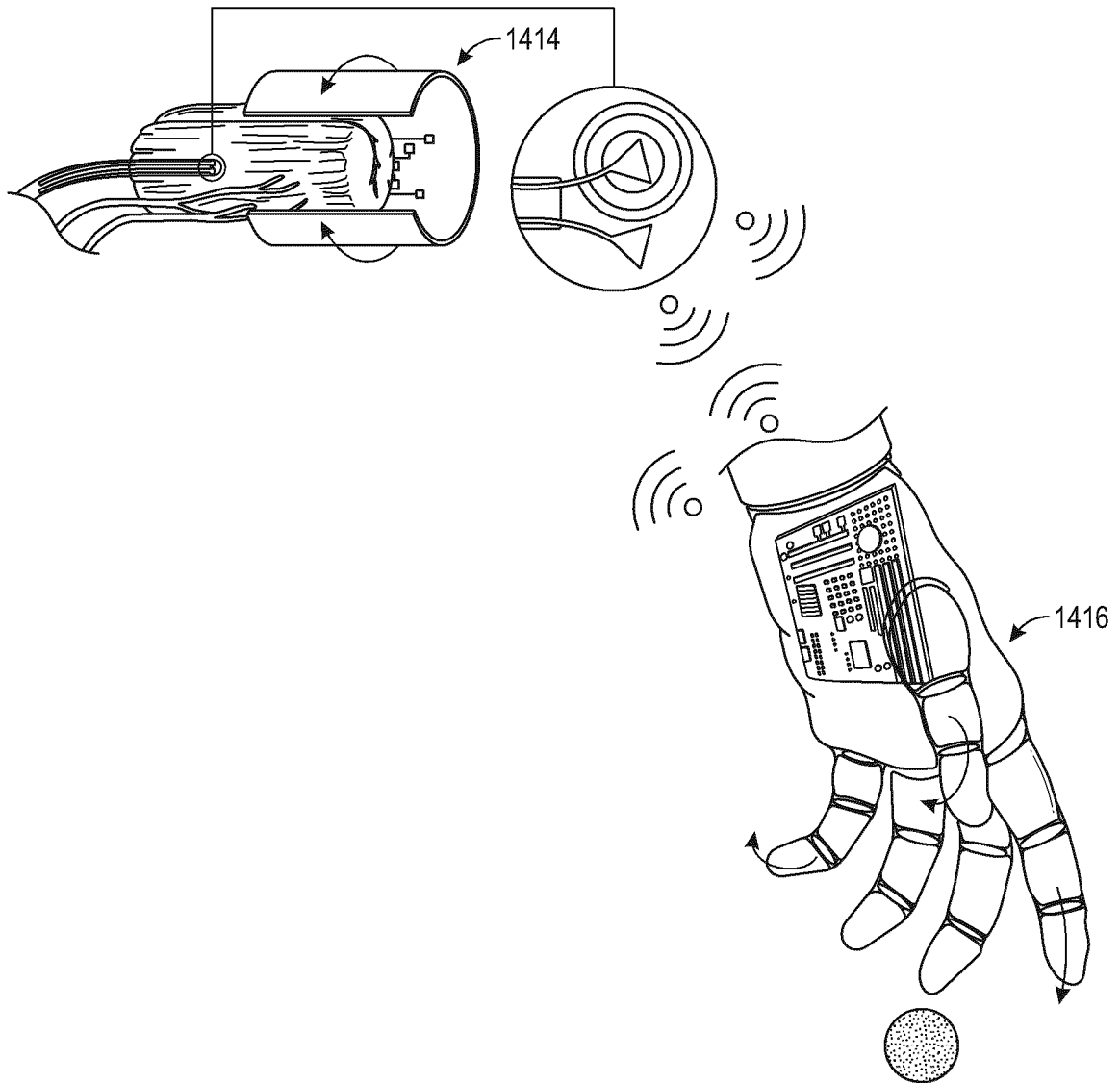


ФИГ. 14В

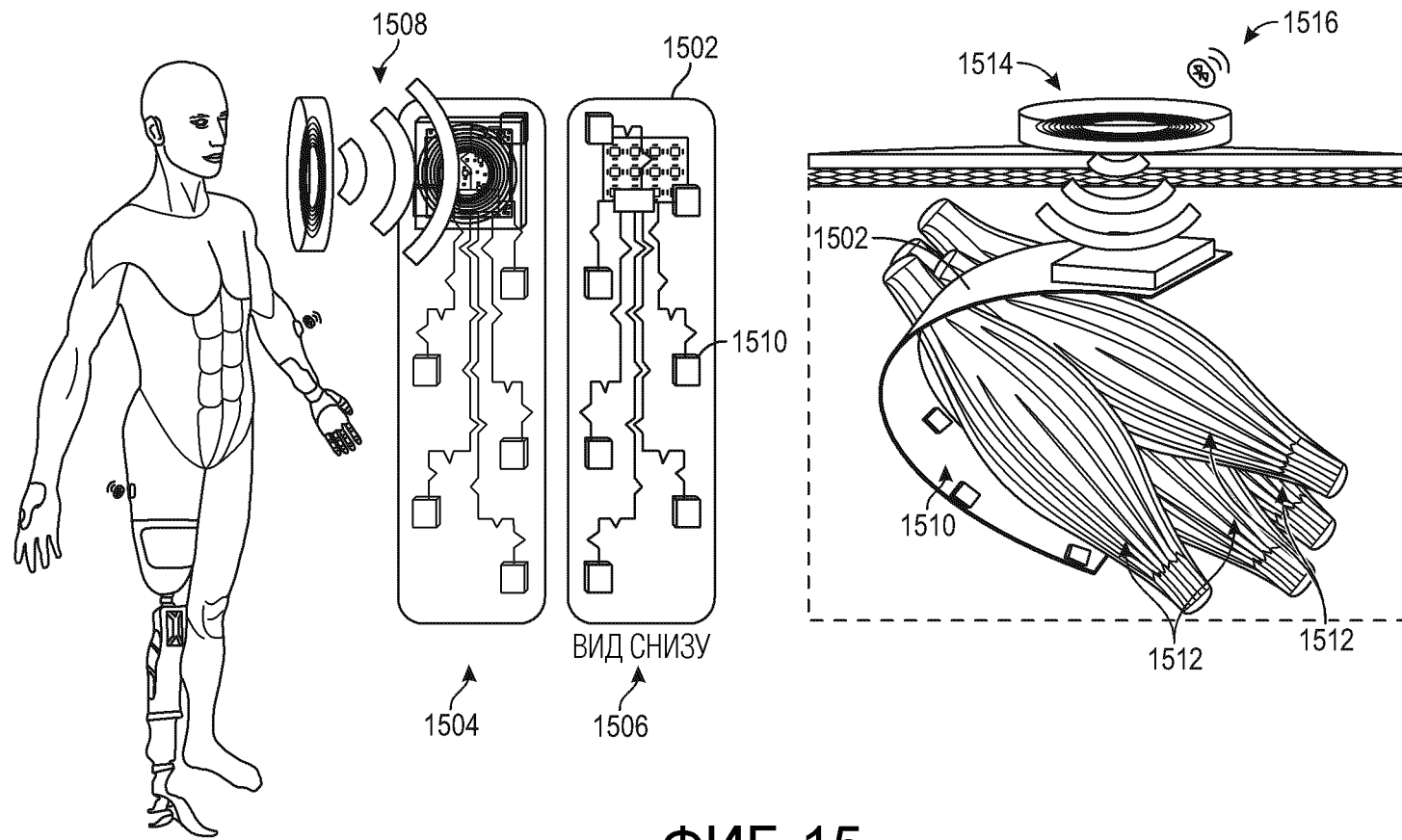
14/18



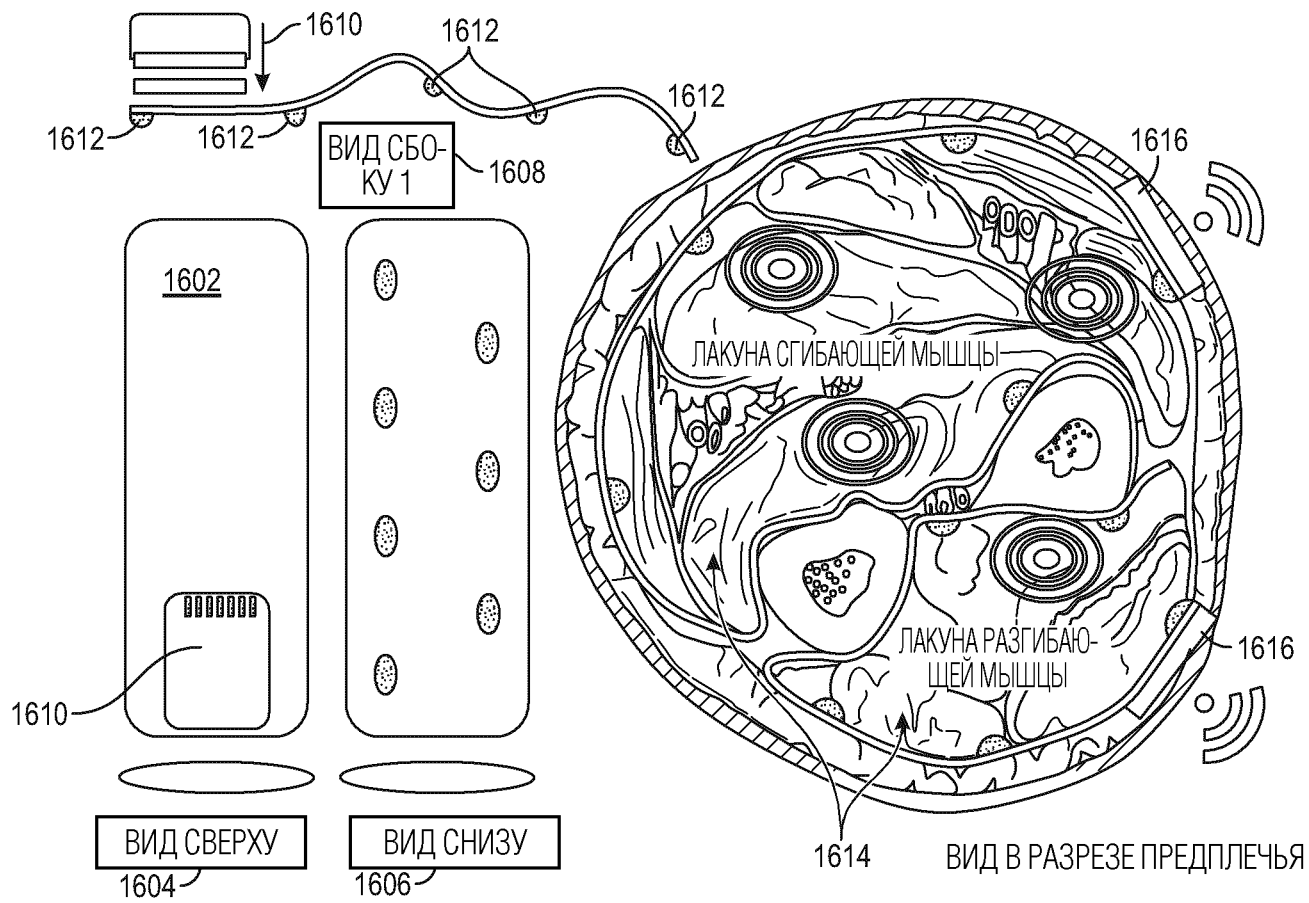
ФИГ. 14С



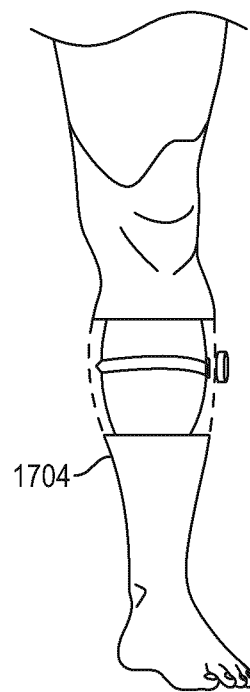
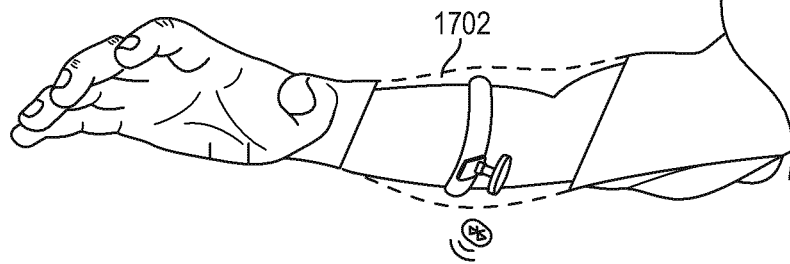
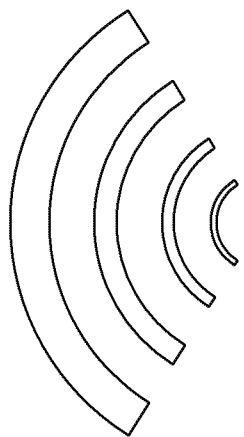
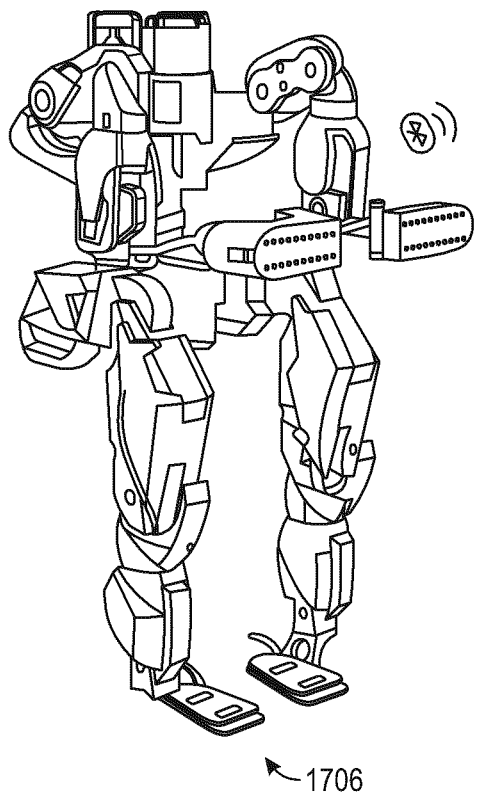
ФИГ. 14D



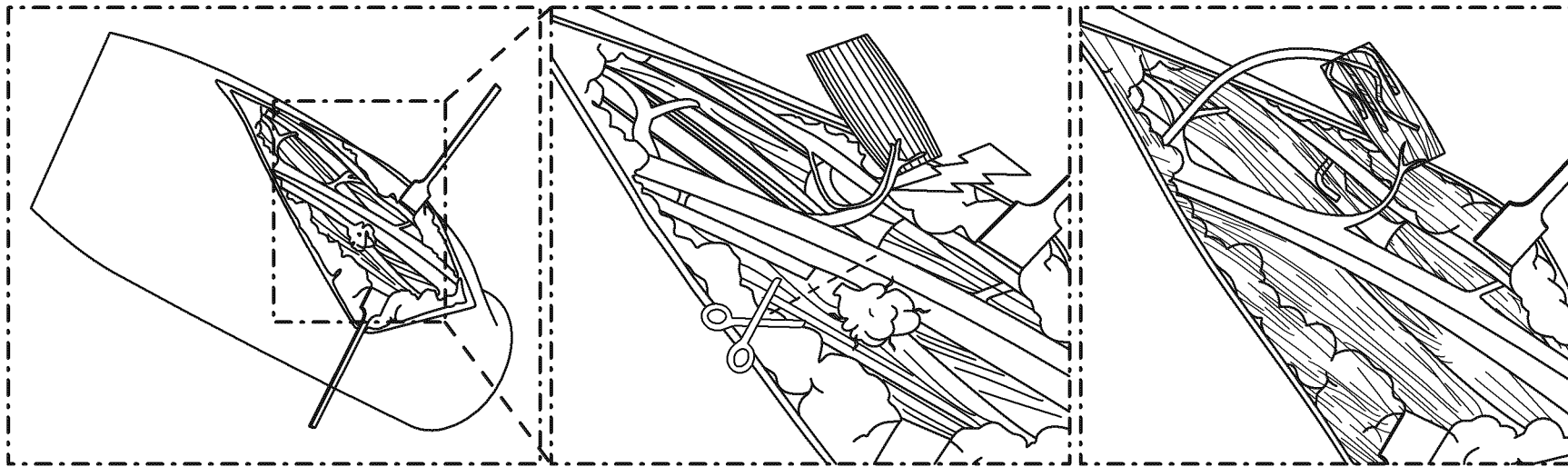
ФИГ. 15



ФИГ. 16



ФИГ. 17



ФИГ. 18