

Научная сессия

**Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН
«НЕЙРОНАУКИ И НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ»**

(24 Апреля 2015 г)

**Мозг-машинные интерфейсы:
достижения, проблемы и перспективы**

А.Я.Каплан

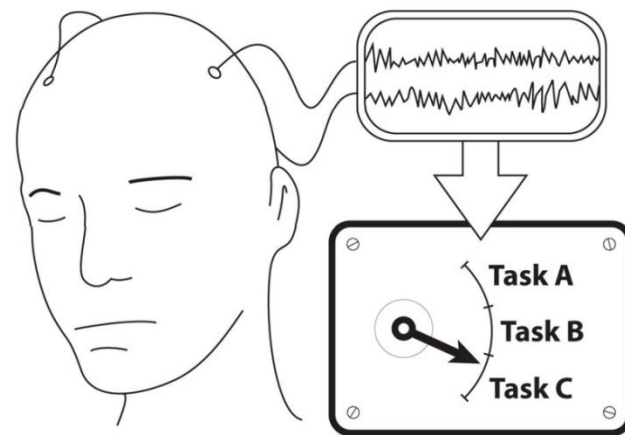
Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова;
Институт Трансляционной медицины РНИМУ имени Н.И.Пирогова

<http://brain.bio.msu.ru/>

Определение термина: Интерфейс мозг-компьютер , мозг-машинный интерфейс, нейроинтерфейс

Интерфейс мозг-компьютер – это технология, позволяющая человеку научиться управлять внешними исполнительными устройствами без мышечных усилий, напрямую от мозга, только на основе регистрации и расшифровки электрической активности мозга.

J. Wolpaw, 2002



Новые финансовые тренды нейронауки

Декабрь 2012 - Science опубликовал список из 10 самых важных научных прорывов 2012 года: наряду с бозоном Хиггса, не кодирующей частью генома человека, посадки автомата на Марс и др - **Технология «интерфейс мозг-компьютер», «нейроинтерфейсы»**

Март 2013 Еврокомиссия выдала грант «Технологии будущего» на проект «Human Brain Project» - 1,3 млрд Евро.

Апрель 2013 Обама объявил о запуске нового исследования строения головного мозга под названием BRAIN Initiative - 3 млрд \$US.

2014 - 2015 Китай в процессе формирования программы «Понимание Мозга» с возможным финансированием 11 млрд US\$ на 10 лет

2013 - 2015 Научные фонды России^ФПИ, Сколково, ФЦП, РФФИ, РФНФ, Минпромторг, Минобр, Минздрав.

«РЫНОК» ИНТЕРФЕЙСОВ МОЗГ-КОМПЬЮТЕР

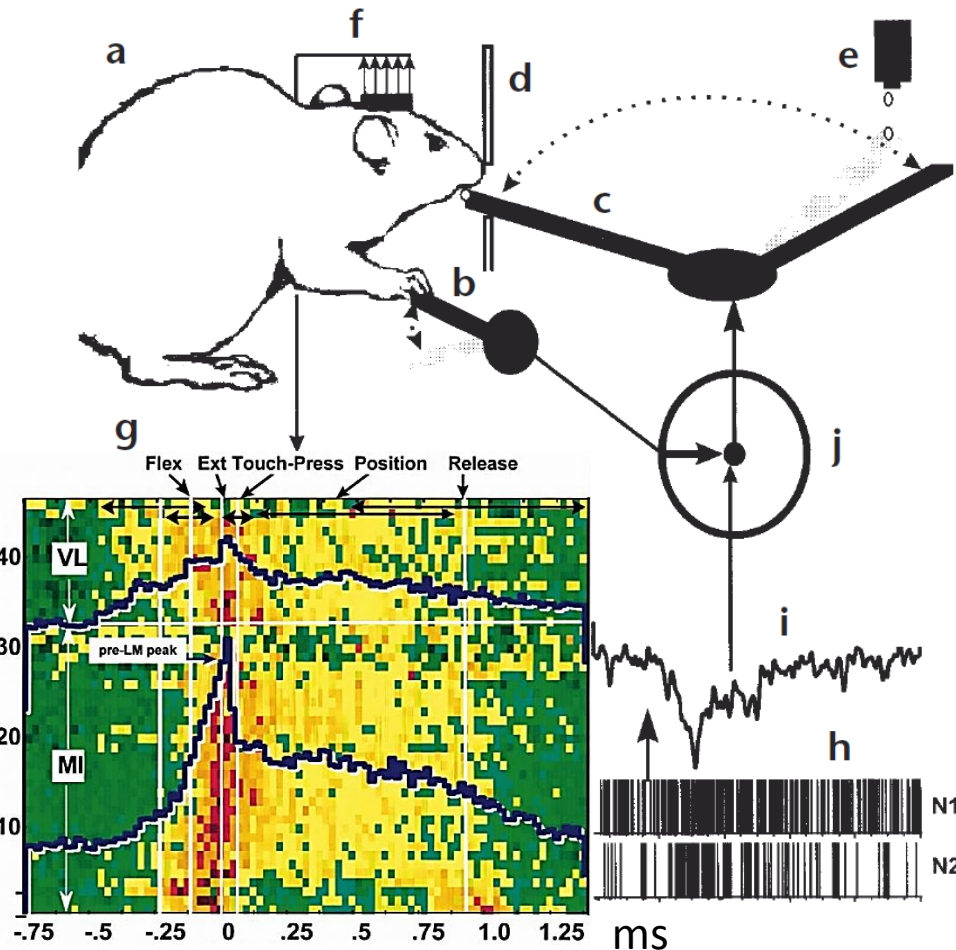
Device	Price	Electrodes	Released	Producer
Aurora Dream Headband	\$199[1]	1	2015	iwinks
HiBrain	\$230[2]	1	2014	HyperNeuro
iFocusBand	\$310[4]	1	2014	iFocusBand
MindWave	\$99.95[6]	<u>1</u>	2011;	NeuroSky
Mindflex (Uses NeuroSky chips)	\$50 [11]	<u>1</u>	2009	Mattel(Neuroskypartner ^[13])
Emotiv EPOC	\$399-499 [14]	<u>14</u>	2009;	Emotiv Systems
Emotiv Insight	\$299[19]	<u>5</u>	2015	Emotiv Lifescience
Star Wars Force Trainer (based on NeuroSky chips)	\$45 [21]	<u>1</u>	2009	Uncle Milton(Neuroskypartner ^[12])
MindSet	\$199[22]	<u>1</u>	2007;	NeuroSky
Neural Impulse Actuator	\$90 [25]	<u>3</u>	2008;	OCZ Technology
Mindball	\$20,000[28]	<u>1</u>	2003	Interactive Productline
XWave headset (NeuroSky chips)	\$90 [30]	1	2011;	PLX Devices
XWave Sonic(NeuroSky chips)	\$100[32]	1	2014	PLX Devices
MyndPlay BrainBand(NeuroSky chips)	\$158[34]	1	2011	MyndPlay
Muse	\$299[35]	4	2014	InteraXon
OpenBCI	\$449^[38] or \$799^[39]	8 or 16	2014	OpenBCI project

Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex

Nature neuroscience • 1999. V. 2 (7) 1999 • 664-670

J.K. Chapin, K.A. Moxon, R.S. Markowitz and M.A. L. Nicolelis

Hahnemann School of Medicine, Philadelphia; Duke University Medical Center, Durham, USA



1. Возможно ли найти функцию активности пула нейронов, которая будет кодировать намерение к движению?
2. Возможно ли будет использовать этот код для управления рычагом вместо мышц?
3. Если верно 2, то переносится ли накопленный опыт мышечной работы, на работу мысленную?

Для свободно подвижного рычага:

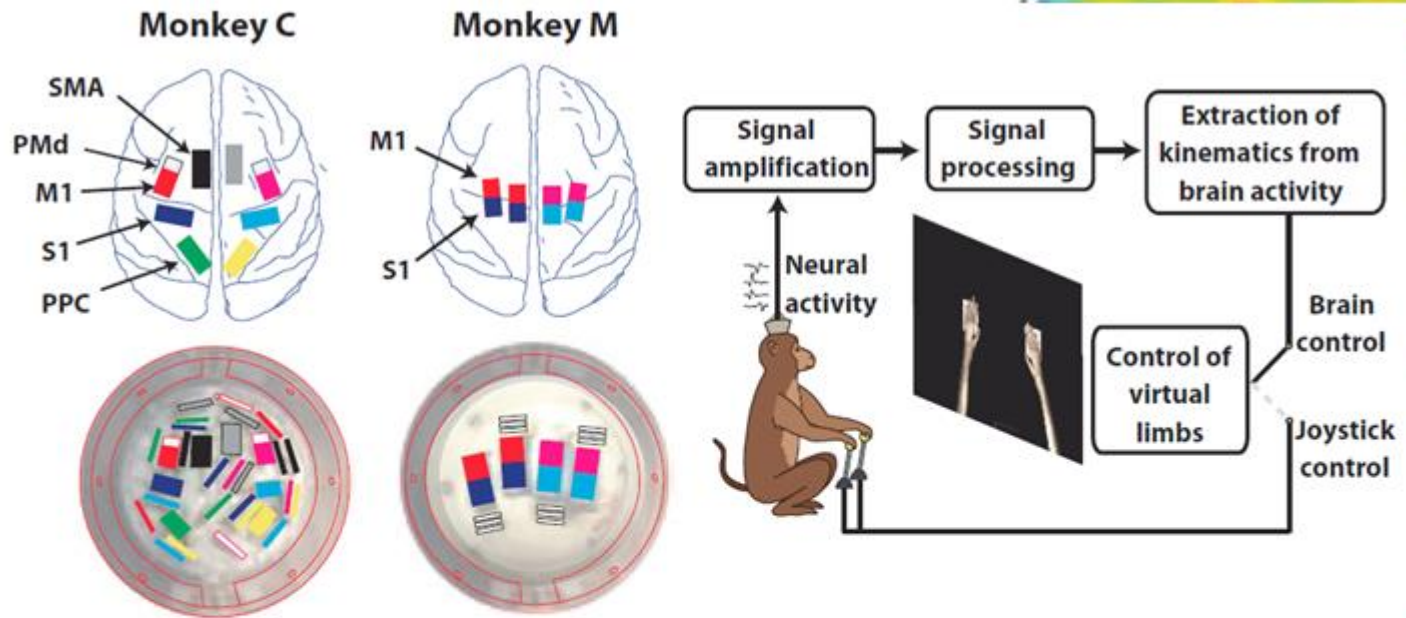
- Возможно ли кодировать скорость?
- Возможно ли кодировать направление?

Предсказание: 100- 150 мс

A Brain-Machine Interface Enables Bimanual Arm Movements in Monkeys

Sci Transl Med 2013, 5, 210, 210ra, 154; Duke University, Durham, USA.

P.J. Ifft, S.Shokur, Z.Li, M.A. Lebedev, M.A. L. Nicolelis*

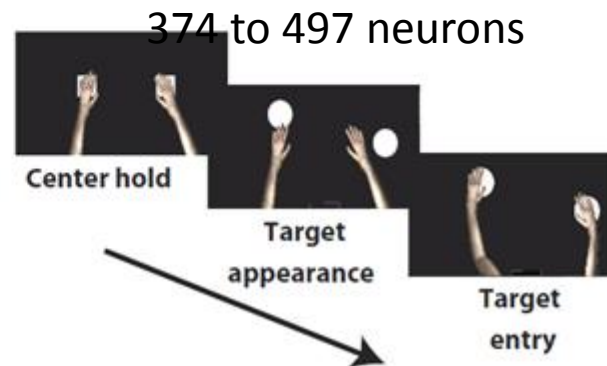


C- 768 electrodes
M-384 electrodes



1. Возможно ли кодировать координацию управления через ЭЭГ двумя объектами?

2. Возможно ли сформировать навык управления через ЭЭГ без реального действия ?

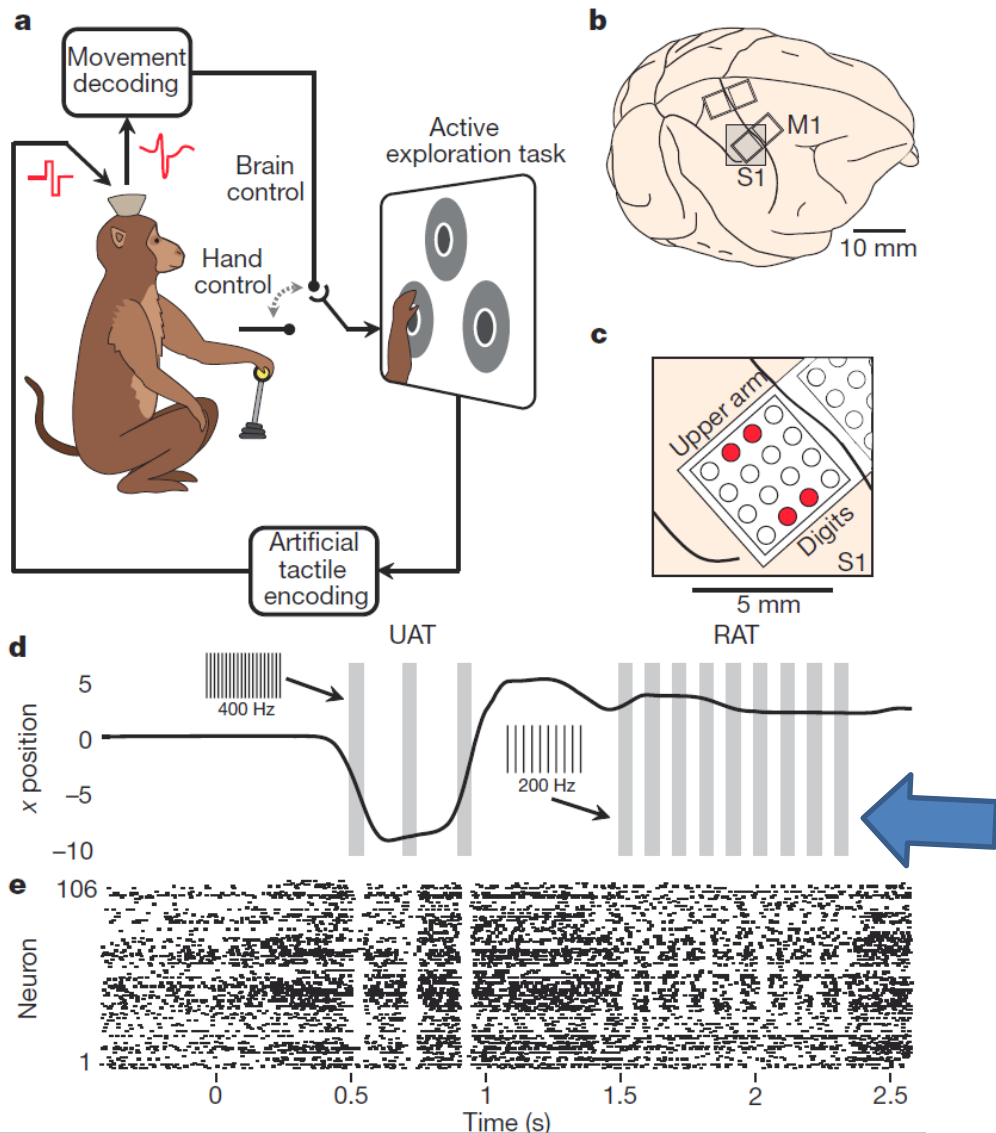


Можно систему калибровать без джойстика !

Active tactile exploration using a brain-machine-brain interface

NATURE 2011 V. L 4 7 9 (1 0) N November 227-232 Duke University, USA

J.E. O'Doherty, M.A. Lebedev, P.J. Ifft, K.Z. Zhuang, S.Shokur, H.Bleuler, M.A. L. Nicolelis



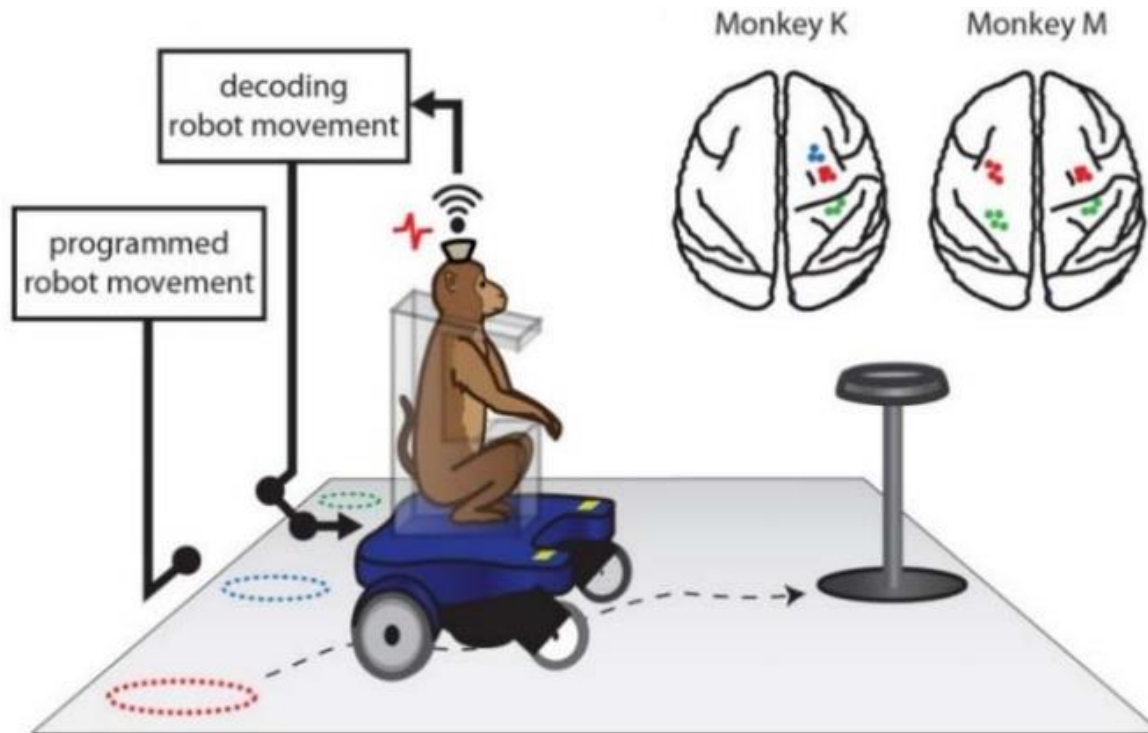
Проблема обратной связи в нейроинтерфейсах

Возможно ли сделать нейроинтерфейс замкнутого типа: с обратной связью по результату управления?

Вопросы кодирования управляющих и обратных сигналов открыты.

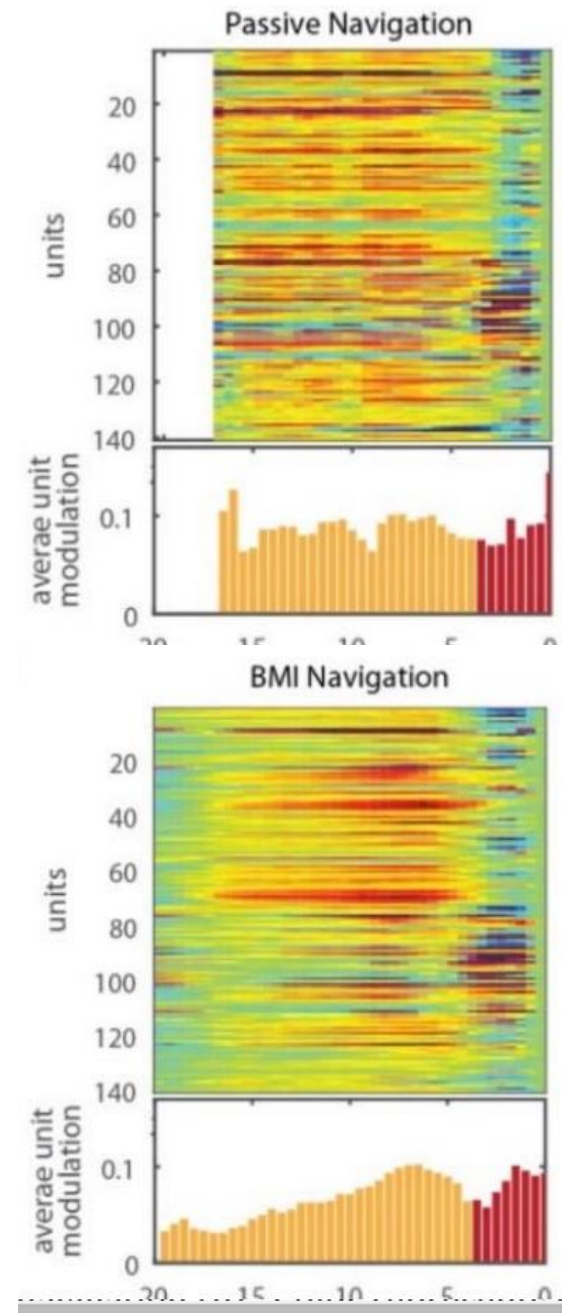
Микростимуляция сенсорной коры сообщает о «шероховатости» тарелки на экране при ощупывании виртуальной рукой.

Direct Cortical Control of Primate Whole-Body Navigation in a Mobile Robotic Wheelchair. S.Rajangam, P.Tseng1, A.Yin,M.A. Lebedev,M. A. L. Nicolelis



Навигация тела!

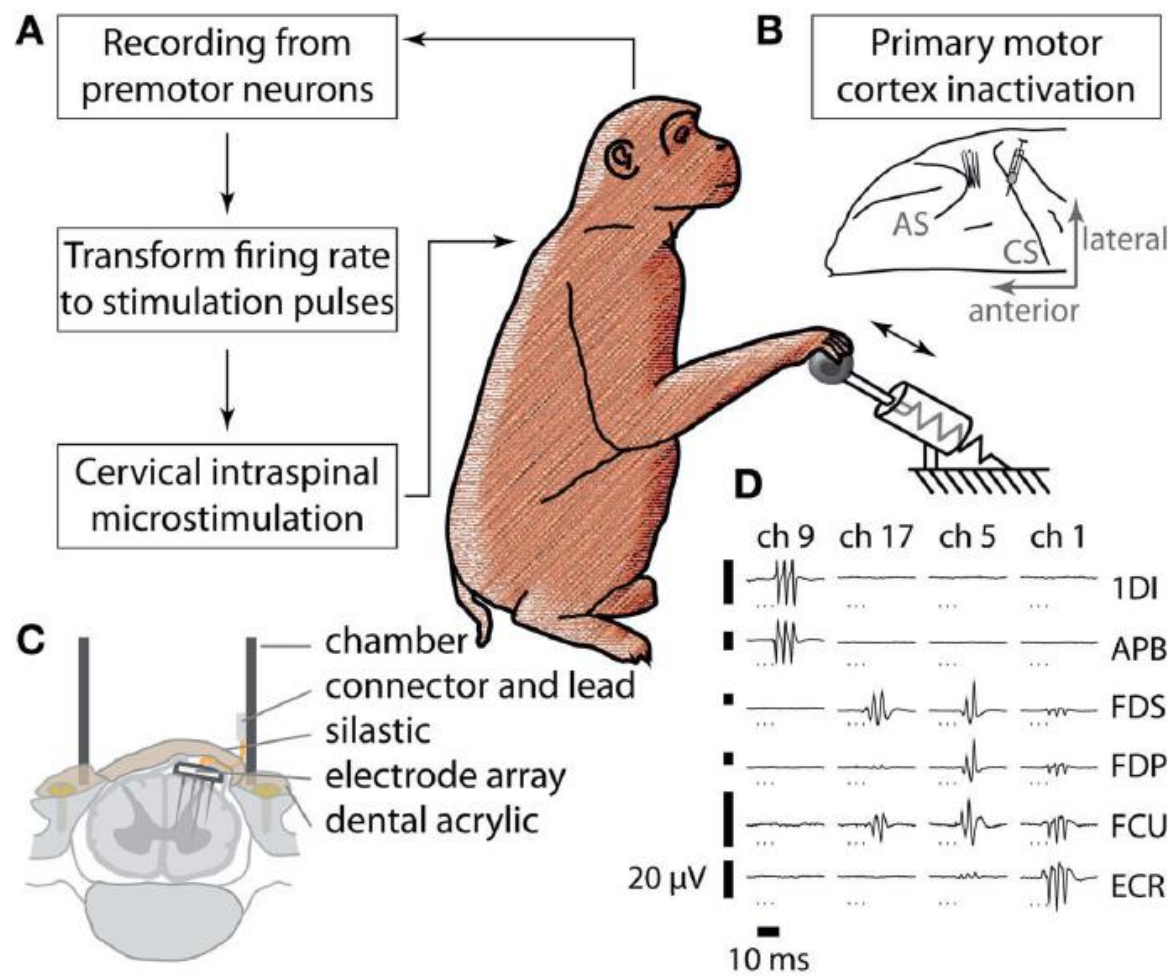
1. Возможно ли управлять позиционированием всего тела?
2. Как тренировать навык навигации тела?



Closed-loop control of spinal cord stimulation to restore hand function after paralysis

J.B.Zimmermann and A.Jackson Donoghue Lab, Brown University, Providence, RI, USA

Frontiers in Neuroscience | Neuroprosthetics 2014 | Volume 8 | Article 87 | 1



Кортико-спинальный шунт!

1. Возможно ли управлять рукой при шейном пересечении спинного мозга?

2. Информационное содержание нисходящего спинального сигнала?

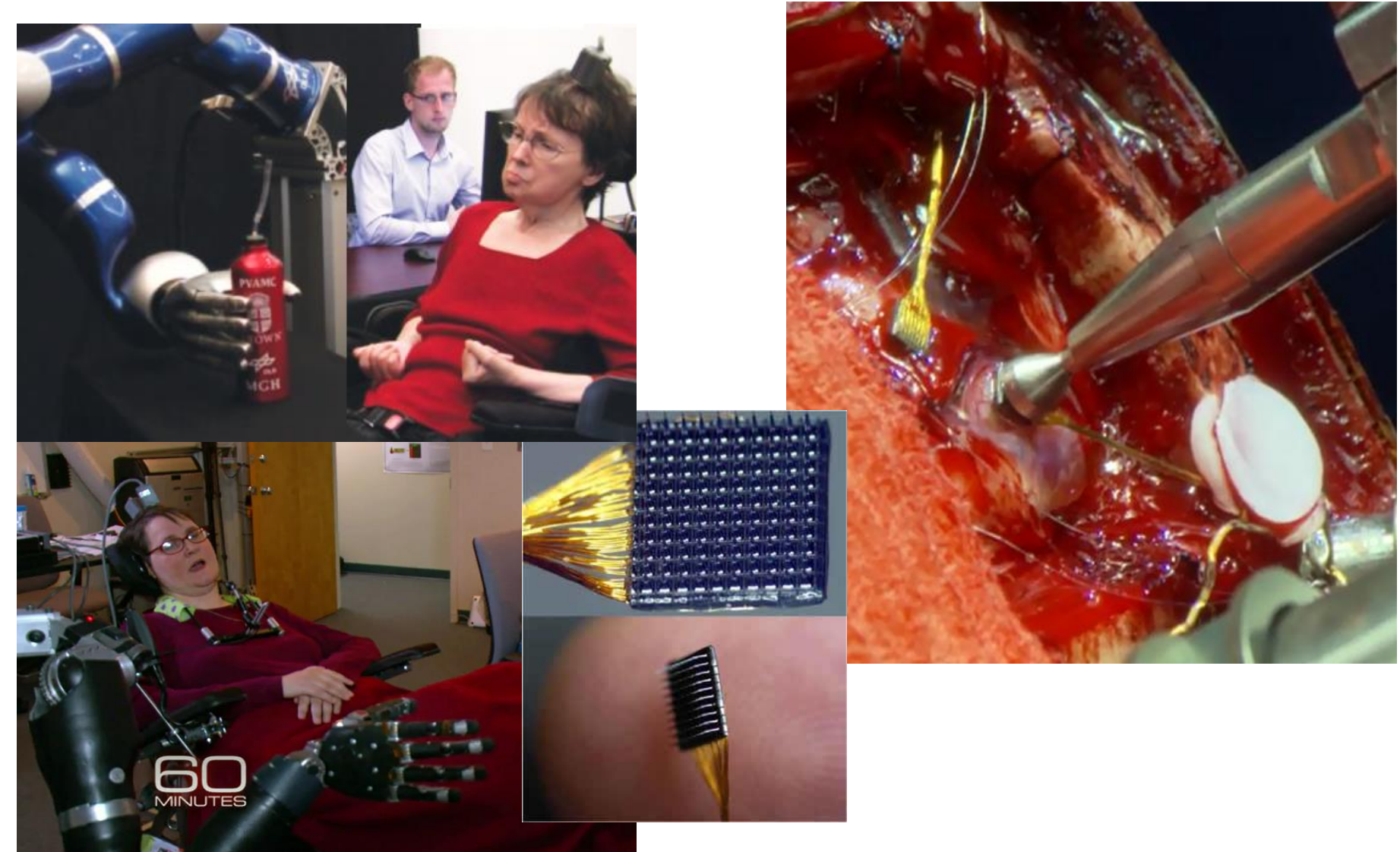
3. Возможно ли выработать навык управления рукой через шунт?

High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia

Andrew B. Schwartz, Bioengineering University of Pittsburgh. Lancet V 381 Feb 2013

Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm

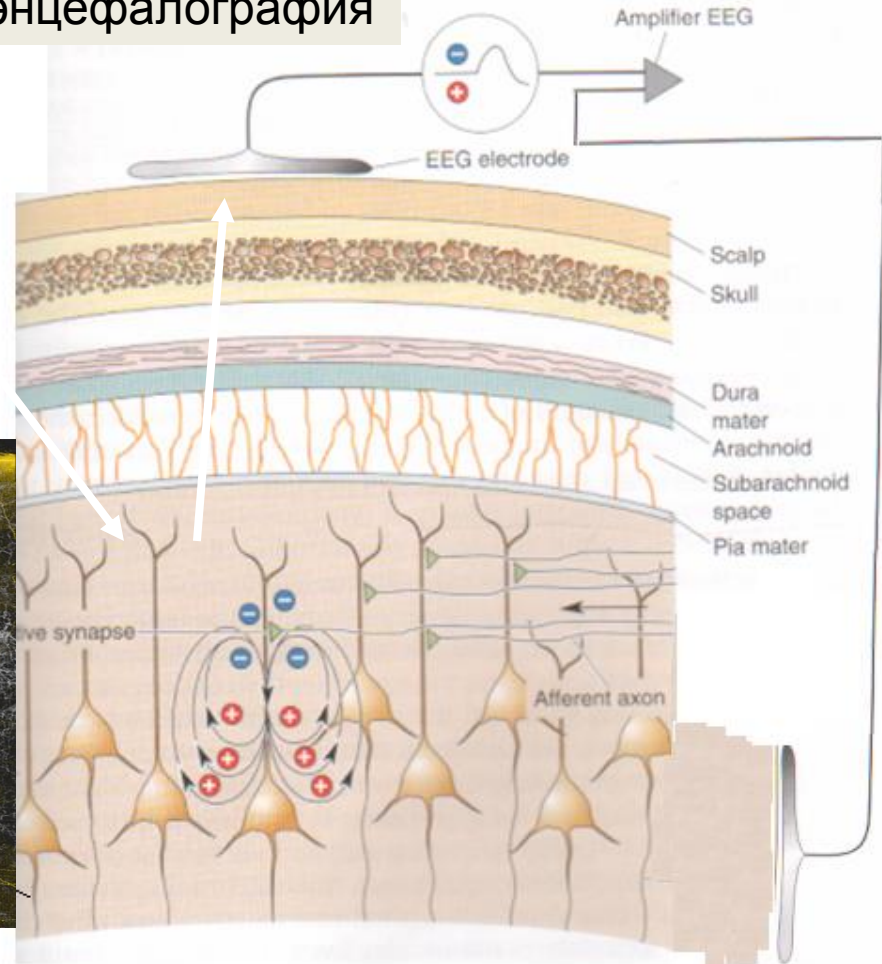
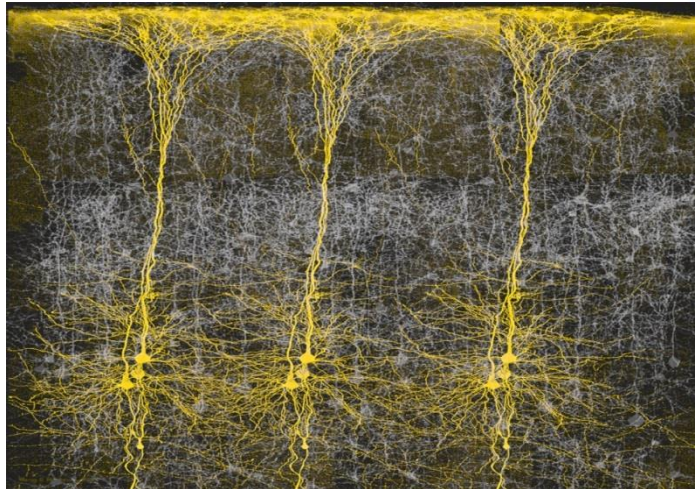
John P. Donoghue Brown University, Providence Nature 485 May 2012



Биологические структуры между электродом и поверхностью коры головного мозга

Электроэнцефалография

На пути к регистрации психических актов



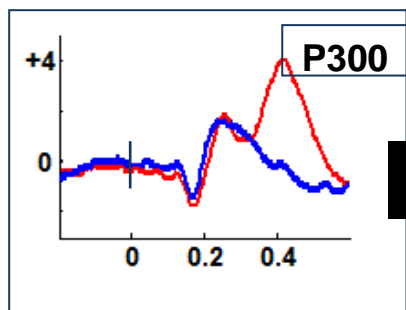
Неинвазивный «Интерфейс мозг-компьютер»



Два способа провокации и выделения в ЭЭГ признаков намерения пользователя

Изменения в ЭЭГ в связи с фокусом внимания на внешние объекты

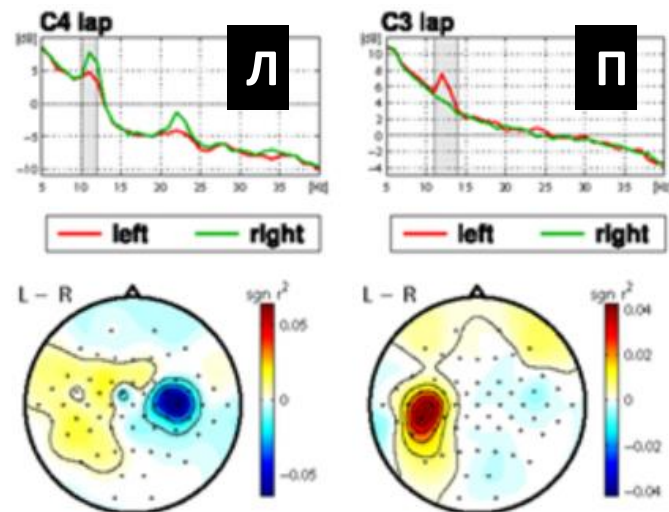
в д р П а в р О н ф г Л в ы р Е п в м г



ИМК-коммуникаторы

Изменения в ЭЭГ в связи с фокусом внимания на внутренние образы

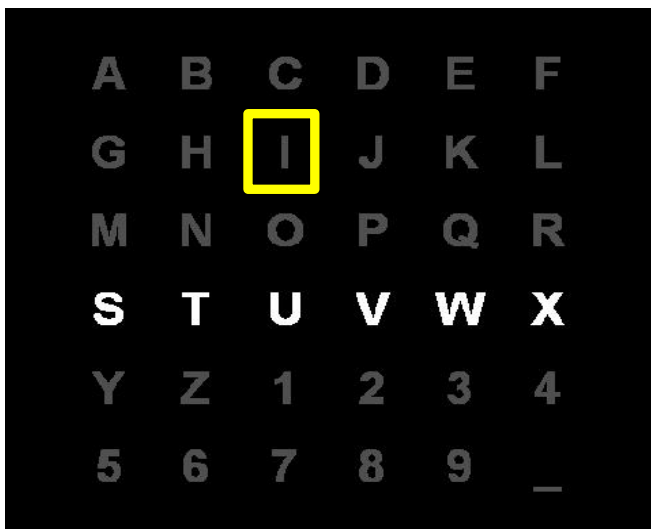
Сжимаю левую кисть.... правую



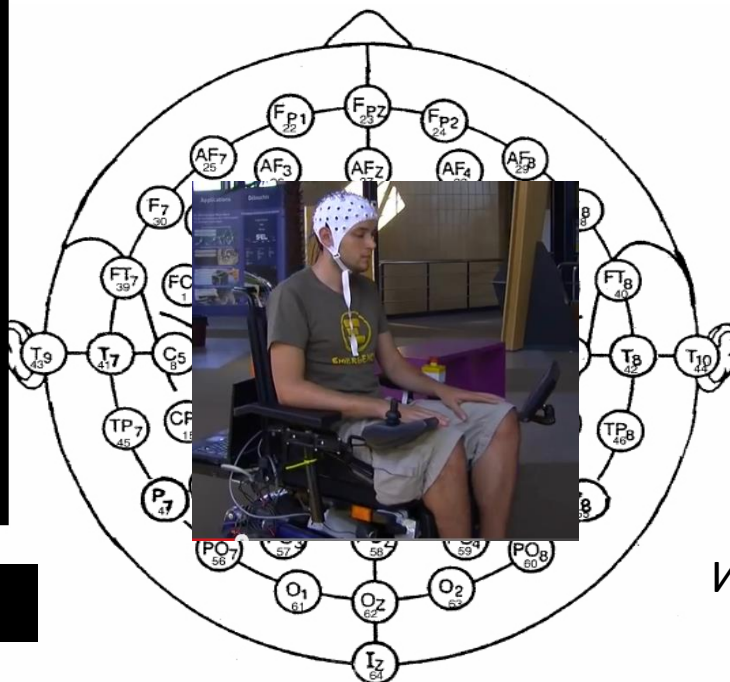
ИМК-тренажеры

ИМК-коммуникаторы

(12-25 символов в минуту с надежностью до 95%)

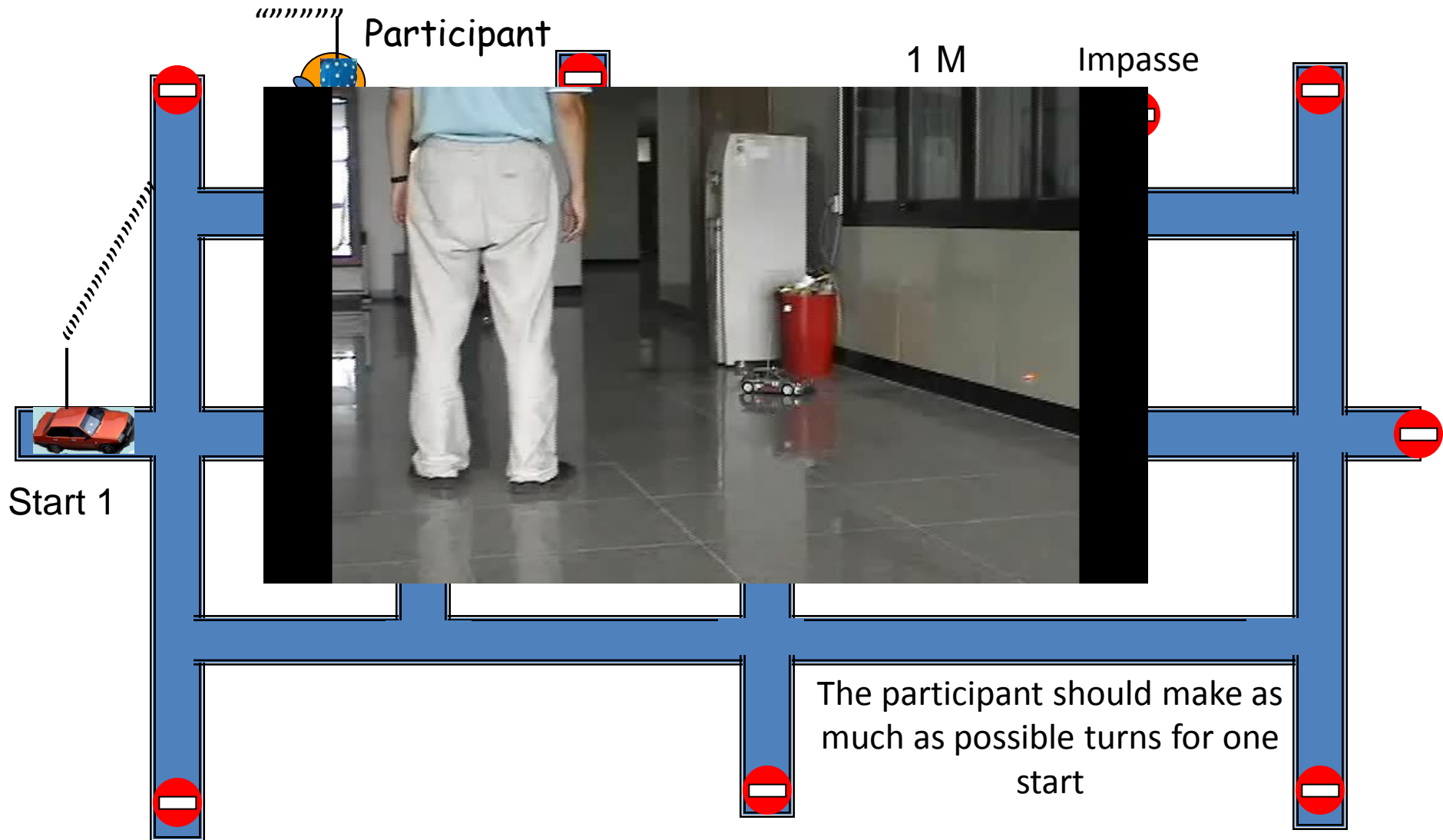


....Hi, I'm happy...



ИМК-коляска

Управление автомобилем «без нервов и мышц»

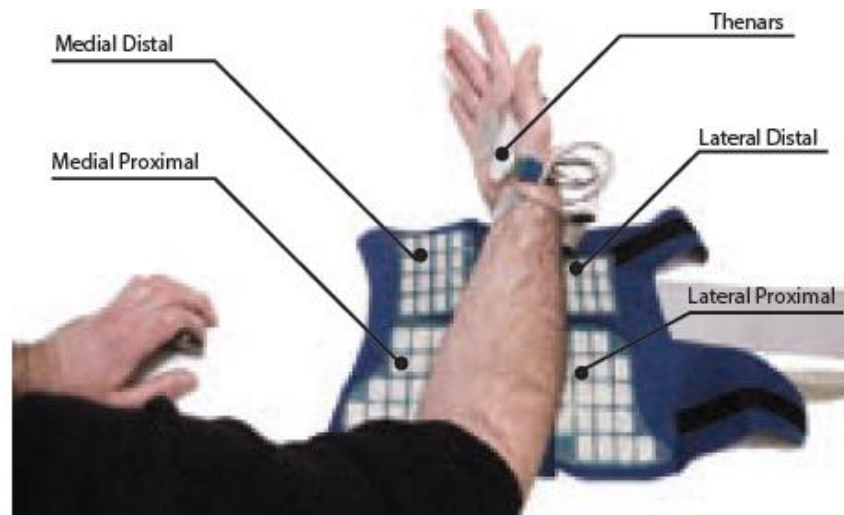
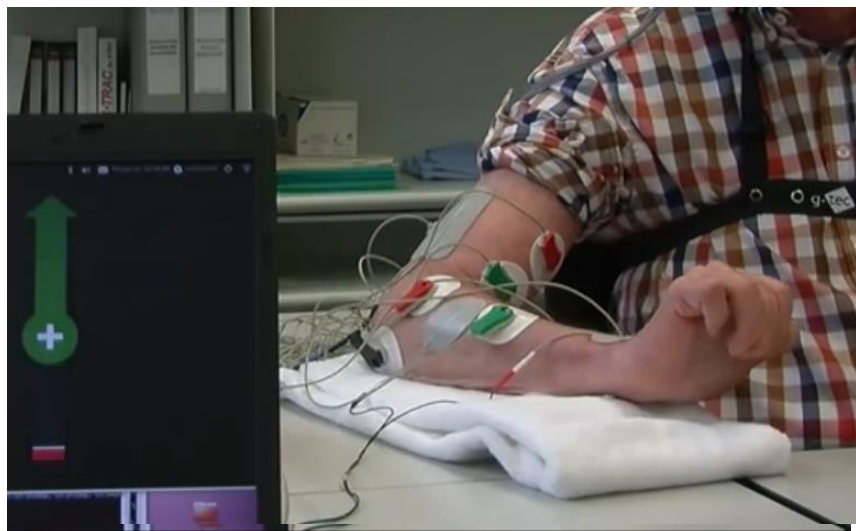


Стабилизация внимания на основе технологии ИМК

Лаборатория нейрокомпьютерных интерфейсов на биофаке МГУ



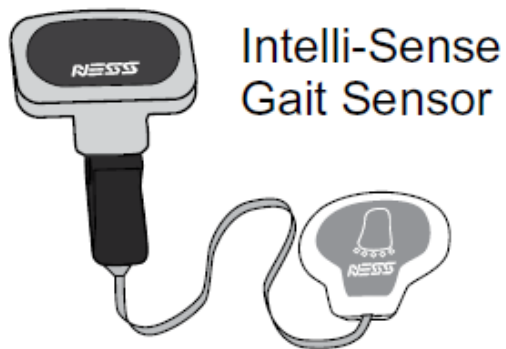
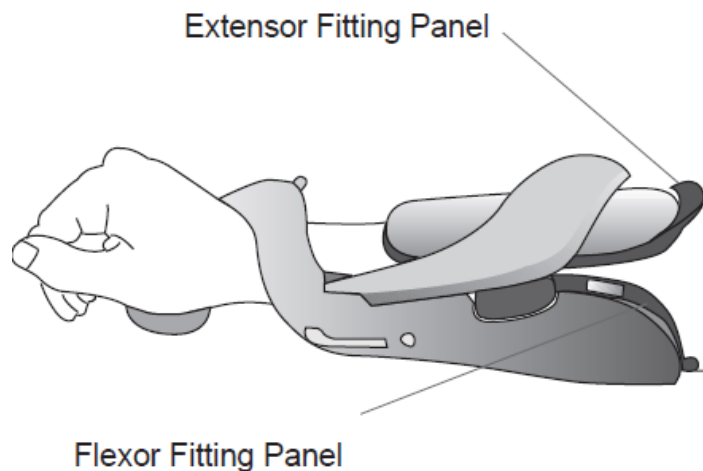
ИМК– функциональная электростимуляция



Dr. Abdul AL-KHODAIRY
TOBI coordinator at SUVAcare hospital, Sion (VS)

Precise neuro-muscular electrical stimulation of hand and fingers
Our electrode arrays facilitate specific flexion and extension of the fingers and also control the wrist.

Адаптивные миостимуляторы



- Увеличить амплитуду движений в суставах кисти
- Помочь «переучить» мышцы руки работать самостоятельно
- Уменьшить частоту возникновения мышечных спазмов
- Улучшить местное кровообращение
- Предотвратить потерю мышечной массы (атрофию)

Варианты практических реализаций ИМК в медицине и индустрии: нейрокоммуникаторы

Место неподвижного пациента, оборудованное Нейрокоммуникатором

- Управление прикроватным манипулятором
- Нажимание кнопок пультов управления по намерению

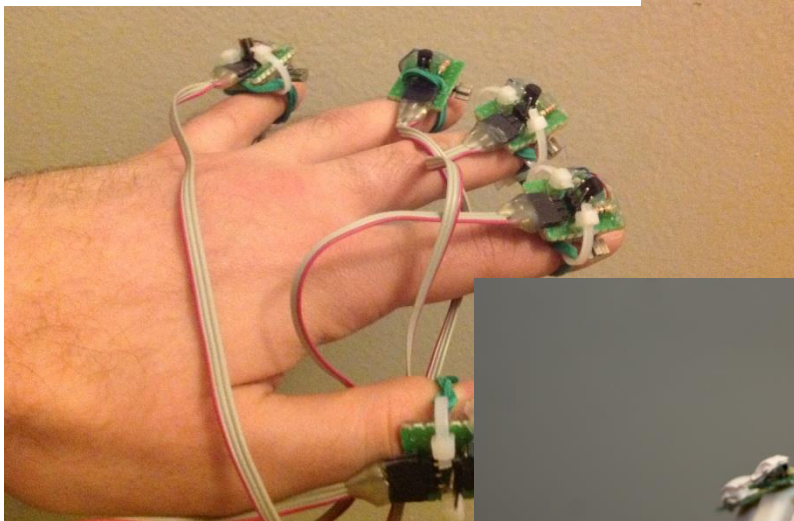


Рабочее место человека-оператора, оборудованное Нейрокоммуникатором

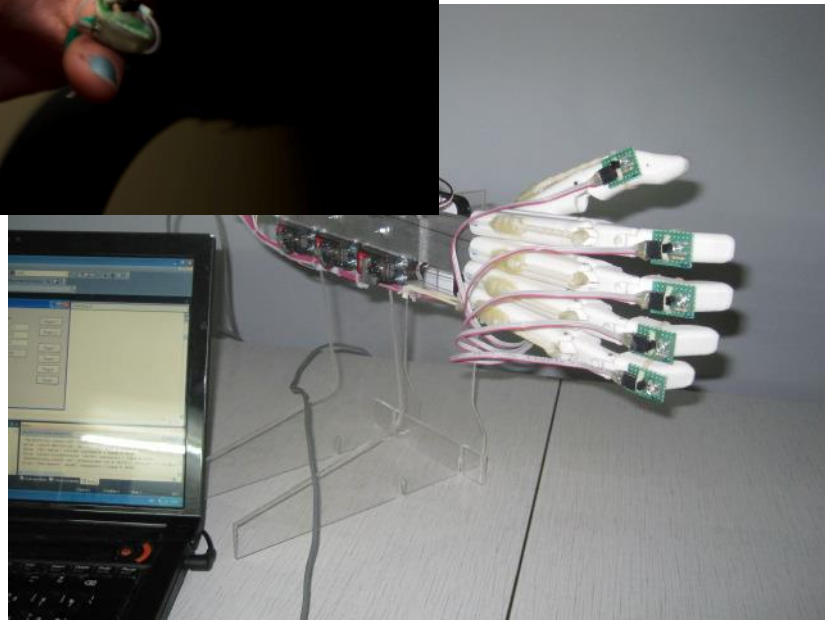
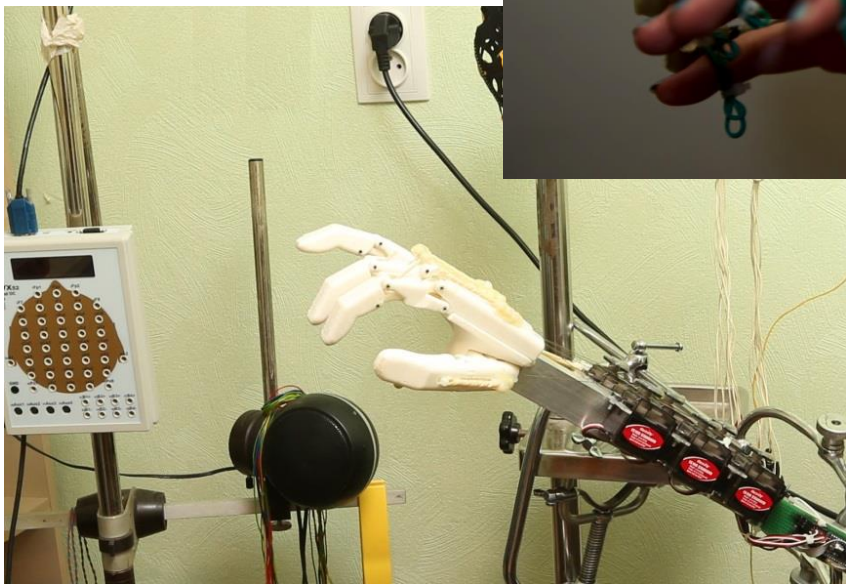
- Автоматическая коррекция решений оператора на основе анализа эмоционально-аффективной сферы с обратной связью
- Опережающие действия



Тактильная стимуляция



Электростимуляция



Фундаментальные научные аспекты технологий ИМК

Проблемные задачи

1. Создание ИМК замкнутого типа (технологии сенсорного и внесенсорного ввода обратной информации в мозг человека.
2. Разработка высоко производительных адаптивных алгоритмов распознавания ЭЭГ-образов «намерений» человека.
3. Создание языка макросов в контуре «Мозг-Компьютер-Мозг» или «Мозг-Робот-Мозг»

мозгом и средой

Прагматические аспекты технологий ИМК : ИМК в медицине



Тренажерные 3D-манипуляторы, вертикализаторы, ТМ -стимуляторы



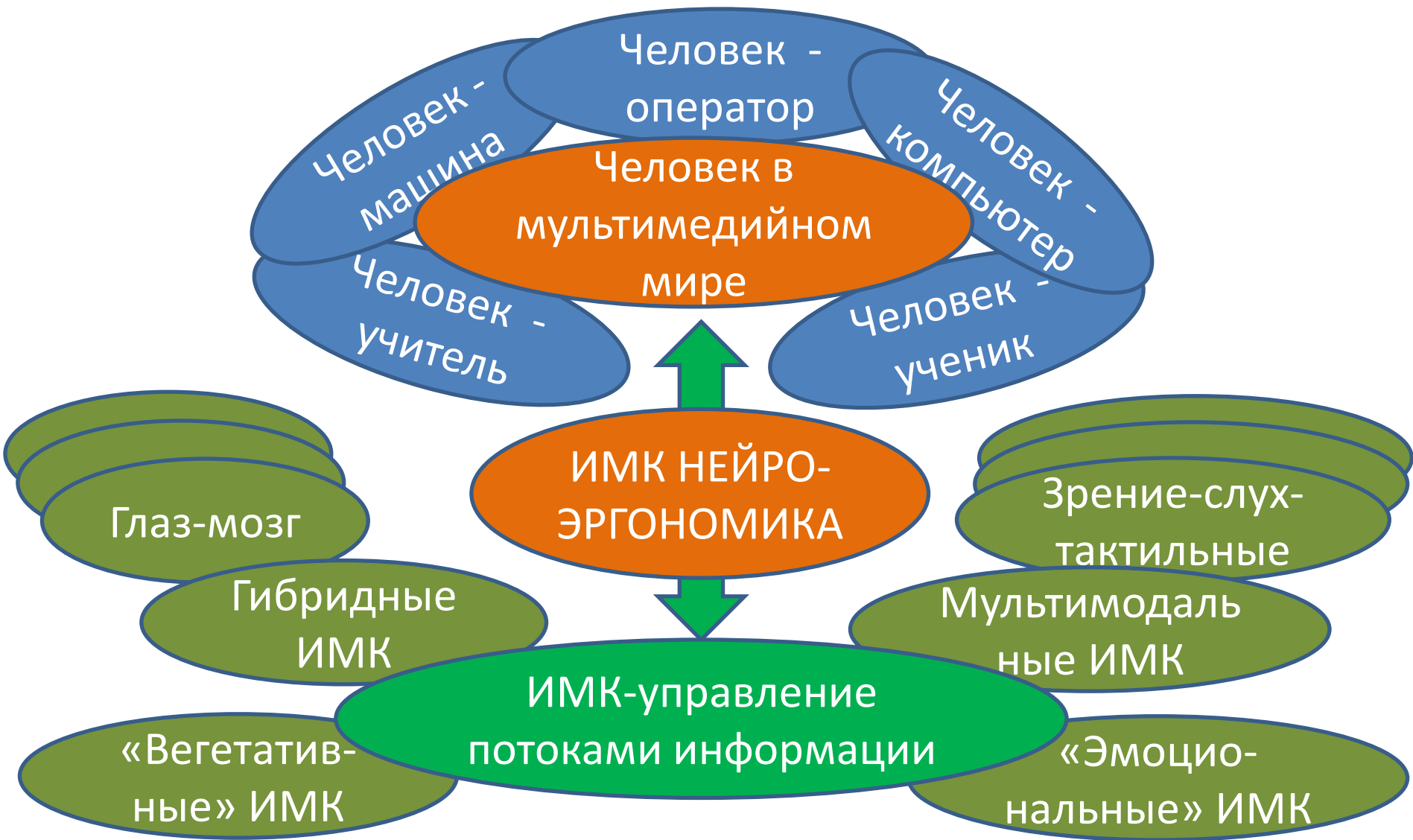
Magnetic Brain Stimulation Might Help Stroke Rehab?

Stanescu Ioana, Dogaru Gabriela
NEW THERAPEUTIC PERSPECTIVES IN
NEUROREHABILITATION:
TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION
Balneo Research Journal Vol.5, No.2, May 2014



Прагматические аспекты технологий ИМК :

ИМК - нейроэргономика



Может ли мозг в контуре ИМК управлять внешними устройствами без контроля сознания?

Intern. J. Neuroscience, 115:781–802, 2005
Copyright © 2005 Taylor & Francis Inc.
ISSN: 0020-7454 / 1543-5245 online
DOI: 10.1080/00207450590881975



UNCONSCIOUS OPERANT CONDITIONING IN THE PARADIGM OF BRAIN-COMPUTER INTERFACE BASED ON COLOR PERCEPTION

794

A. Y. KAPLAN ET AL.

ALEXANDER YA. KAPLAN

Department of Human Physiology
Biological Faculty, Moscow State University
Moscow, Russian Federation

Table 4. Average RGB codes, managed by EEG spectral features in NF conditions compared to RE and MK conditions in Experiment 2 after commutation schema between EEG spectral features and RGB components was changed (see notations in text)*

Sub.	Experiment 2 (Alpha and Theta reversed for RGB)						Experiment 1					
	N%	R (Al)	G (Th)	B (Bt)	N%	R (Al)	G (Th)	B (Bt)	N%	R (Th)	G (Al)	B (Bt)
2	56	118	131	116	37	234	124	84	39	243	94	53
6	63	133	123	119	43	194	107	56	42	241	88	38
8	58	131	123	126	51	92	172	88	48	39	187	43
13	47	125	127	117	56	119	153	97	69	51	170	83

*See Color Plate VII at end of issue.



Российская академия наук



Спасибо за внимание!



Эвристические аспекты исследований в парадигме технологий «Интерфейс мозг-компьютер»

- **В контуре ИМК** физическими «Исполнителями» команд мозга становятся не мышцы, а электронно-механические устройства, управляемые непосредственно от генераторов ЭЭГ.
- Под прямым управлением мозга могут быть не только рычаги или манипуляторы прямого физического действия, но, например, и структура потоков сенсорной информации
- **В парадигме ИМК** вскрываются ранее неизвестные ресурсы мозга по выработке навыков взаимодействия с внешней средой без использования мышц, только на основе управления генераторами электрической активности мозга.
- **В парадигме ИМК** также тестируются ресурсы мозга по созданию макросов языка общения между мозгом и внешним исполнительным устройством: Паттерн мозга – Команда – Паттерн результата.
- **В парадигме ИМК** рассматривается проблема ввода информации в мозг от ИМК, в том числе и вне сенсорных каналов.