

СТИВ М. ПОТТЕР УЛУЧШЕННЫЙ РАЗУМ: КОГНИТИВНОЕ УСИЛЕНИЕ В XXI ВЕКЕ

www.neuro.gatech.edu

Всем нам хочется иметь более совершенный, более восприимчивый разум. Поскольку биологический его носитель, мозг, принимает участие во всем, что мы делаем, есть великое множество причин, по которым мы могли бы желать улучшения того, с чем рождены. Многие хотели бы точнее помнить всякие вещи – от тривиального “куда я положил(а) ключи?” до важного “а когда у нас годовщина свадьбы?”. Мы не прочь быть быстрее и сообразительнее в широком спектре контекстов. Вероятно мы, люди, развили свои необычайно высокие когнитивные способности, чтобы помочь себе решать проблемы, успешно справляться с невзгодами в доисторическую эпоху. Было бы здорово, если бы наши когнитивные навыки шли вровень с переменами в жизни людей, но они не идут. Живя в современном мире, мы рождаемся с теми же мозгами, какими обладали наши дикие предки 30 000 лет назад.

Трудности, которые нам приходится преодолевать сегодня, заметно отличаются от проблем кроманьонцев. Мало кому необходимо знать, как найти воду, добыть пищу, спастись от хищников и развести огонь. Вместо этого наши мысли заняты тем, какую карьеру избрать, как поладить с соседями, которые выглядят иначе, чем мы, где жить и какую купить машину. Мы беспокоимся не о том, ядовито ли растение, которое мы собираемся съесть, а о том, достаточно ли в нем железа и витаминов. В отсутствие животных, за которыми или от которых нужно бегать, и при избытке калорийной пищи нас заботит, как сохранить хорошую форму в мире, не требующем от нас большого напряжения сил.

Некоторые из “величайших проблем” мира – это на самом деле не те, о которых мы обычно думаем. Засуха и голод – проблема? Пищи и воды хватит на всех, просто они не распределяются справедливо или эффективно. Энергия –

STEVE M. POTTER BETTER MINDS: COGNITIVE ENHANCEMENT IN THE 21st CENTURY

www.neuro.gatech.edu

We would all like to have a better, more capable mind. Since the mind's biological substrate, the brain, is involved with everything we do, there are many, many reasons why we might want to improve on what we were born with. Most of us would like to be able to remember things better, from the trivial, “Where did I put my keys?” to the important, “What is the date of our wedding anniversary?” We would like to be more quick and clever in a wide variety of contexts. We humans probably evolved our unusually high cognitive abilities to help us solve problems, to deal with adversity successfully in our prehistoric environment. It would be great if our cognitive skills and abilities kept in step with changes in how people live, but they haven't. We are living in a modern world, born with the same brains that our savage ancestors had 30,000 years ago.

The kinds of problems we need to solve today are distinctly different than those the Cro-Magnons had. Few of us need to know how to find water, to hunt for food, to escape from predators, and to build a fire. Instead, we need to know which career path to choose, how to get along with people next door that don't look the same, where to live and what type of car to buy. We worry not about whether some plant we might eat is poisonous, but whether it has enough iron and vitamins. Without animals to run after or from, and with an excess of fattening food around, we obsess over how to keep fit in a world that does not require us to exert ourselves.

Some of the world's “biggest problems” are not actually the ones we usually think of. Are drought and starvation problems? There is plenty of food and water for everyone; it is just not distributed fairly or effectively. Is energy supply a problem? There is far more energy than we need beamed straight from the sun every day. It just needs to be collected and used more effectively. Global warming is not a problem, the prob-

evolutionhautecouture

искусство и наука в эпоху постбиологии
art and science in the post-biological age

evolutionhautecouture

искусство и наука в эпоху постбиологии
art and science in the post-biological age

ЭВОЛЮЦИЯ ОТ КУТЮР - ЧАСТЬ 2
EVOLUTION HAUTE COUTURE - PART 2

THEORY

PART 2

ЭВОЛЮЦИЯ ОТ КУТЮР:
ИСКУССТВО И НАУКА В ЭПОХУ ПОСТБИОЛОГИИ

Часть 2: Теория. Составление и общая редакция Дмитрия Булатова // Калининград: БФ ГЦСИ, 2013

Что такое радикализация и избыточность технологического и научного прогресса? Каков эволюционный потенциал, заложенный в основных технологических трендах XXI века – робототехнике, IT, биомедицине, нанотехнологии? Каждое из этих направлений максимально проблематизирует традиционно сложившиеся границы жизни и смерти, демаркации нормы и патологии, различия между смоделированным объектом и биологическим существом. Рассмотрение этих вопросов вряд ли возможно без учета опыта современного технобиологического искусства, которое обладает парадоксальным свойством не только подтверждать своими стратегиями существующие технологические версии современности, но и оговаривать их границы. Искусство, рождающееся в новых условиях постбиологии – в условиях искусственно оформленной жизни, – не может не делать эту искусственность своей неизбежной темой. Вопросая о причинах и следствиях технического прогресса и его определяющей роли в современном обществе, известные представители современного искусства, науки и философии пытаются выяснить, что лежит в основе возникновения “искусственной”, “технологической” реальности и как эта реальность воздействует на нас? Возможно ли переизобрести язык, конструирующий и описывающий мир технологий? Задача этой книги – показать, как художники создают новые формы и новые идентичности – но не в качестве протагонистов определенного историей технологического нарратива, а в качестве его творцов.

EVOLUTION HAUTE COUTURE:
ART AND SCIENCE IN THE POST-BIOLOGICAL AGE

Part 2: Theory. Edited and curated by Dmitry Bulatov // Kaliningrad: BB NCCA, 2013

How can the radicalization and redundancy of science and technology progress be defined? What is the evolutionary potential of 21st Century technology trends such as robotics, IT, biomedicine, and nanotechnology? Each of these trends actualizes traditionally formed boundaries of the beginning and end of human existence, the demarcation of norm and pathology, and the distinction of the non (or semi) organic model or entity. These, and other issues, cannot be taken into consideration without the experience of contemporary techno-biological arts – the representatives of which do not so much confirm the technological versions of contemporaneity, as determine these versions' boundaries. Art created under new conditions of postbiology – that is, under conditions of an artificially fashioned lifespan – cannot help but take this artificiality as its explicit theme. In questioning the causes and consequences of technological progress and its central role in today's society, renowned representatives of contemporary art, science and philosophy are attempting to elucidate the foundation that gives rise to “artificial,” “technological” reality, as well as to explain how this reality impacts us. Is it possible to reinvent a language that can simultaneously construct and describe the world of technology? The aim of this book is to show how artists are creating new forms and new identities – not as the protagonists of a historically-determined technological narrative, but as its creators.

ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ
ГЦСИ

Государственный центр современного искусства (ГЦСИ)
Балтийский филиал, Калининград, 2013
National Centre for Contemporary Arts (NCCA)
Baltic Branch, Kaliningrad, 2013

ISBN 978-5-94620-073-8



9 785946 120073 8

evolution haute couture

искусство и наука в эпоху постбиологии
art and science in the post-biological age

PART 2

evolutionhautecouture

искусство и наука в эпоху постбиологии
art and science in the post-biological age

Составление и общая редакция Дмитрия Булатова
Edited and curated by Dmitry Bulatov

Н С С А Г Ц С И
Г Ц С И Н С С А
Н С С А Г Ц С И
Г Ц С И Н С С А
Н С С А Г Ц С И
Г Ц С И Н С С А

Государственный центр современного искусства (ГЦСИ)
Балтийский филиал, Калининград, 2013
National Centre for Contemporary Arts (NCCA)
Baltic Branch, Kaliningrad, 2013

EVOLUTION HAUTE COUTURE: ART AND SCIENCE IN THE POST-BIOLOGICAL AGE

Part 2: Theory. Edited and curated by Dmitry Bulatov //

560 pp. with 293 b/w ill., Kaliningrad: BB NCCA, 2013

ISBN 978-5-94620-073-8

Credits

Idea and sci-art-composition: Dmitry Bulatov

Editor: Dmitry Bulatov

Image processing: Alexej Chebykin

Layout: Dmitry Bulatov

Logo: Pavel Saveliev

Design: Oleg Blyabyas, Jury Vasiliev

Cover illustration: Garnet Hertz

Copyediting [rus]: Elena Ryabkova, Dmitry Bulatov

Copyediting [engl]: Stephen Ankenman, Christian de Lutz

Web site and PR: Sergey Sorokin, Aleksandr Firsov

International Coordination Council

Roy Ascott, Professor of Technoetic Art, The University of Plymouth, United Kingdom

Dmitry Bulatov, Curator, The National Centre for Contemporary Arts, Baltic Branch, Kaliningrad, Russia

Pier Luigi Capucci, Professor of Art, The NABA International Academy of Arts and Design, Milan, Italy

Oron Catts, SymbioticA, The Centre of Excellence in Biological Arts, The University of Western Australia, Perth, Australia

Ken Rinaldo, Professor of Art and Technology, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

Eugene Thacker, Professor of Media Studies, The New School, New York, NY, USA

Translations

Stephen Ankenman

Irina Borisova

Thomas Campbell

Igor Khadikov

Anna Matveeva

Sergej Mikhailov

Ainsley Morse

Eugene Naryshkin

Kevin Reese

Ekaterina Shamova

Anastasia Sulzhenko

Eugene Volkov

Realized by

The National Centre for Contemporary Arts

(Baltic Branch, Russia)

P.O.Box 1582, Kaliningrad, 236000 Russia

e-mail: videodoc@ncca.koenig.ru

www.ncca-kaliningrad.ru

www.videodoc.ncca-kaliningrad.ru

The National Centre for Contemporary Arts (Baltic Branch, Kaliningrad, Russia) gratefully acknowledges the financial support of the Ministry of Culture of the Russian Federation (Moscow, Russia)

© 2013 NCCA, Baltic Branch, Russia

© 2013 Dmitry Bulatov and the contributors

© 2009 for video documentaries (Part 1) by the artists and their legal representatives

DVD-ROM collection is for private home viewing only. Any unauthorized copying, hiring, lending or public performance is illegal and subject to criminal prosecution.

All rights reserved. The title of the anthology, texts and illustrations are property of the National Centre for Contemporary Arts (Baltic Branch, Kaliningrad, Russia) and the group of authors in accordance with the Copyright, Designs and Patents Act, 1998. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, without the prior written permission of the editor and the contributors. Exceptions are allowed for brief announcements in newspapers, magazines, in radio shows and TV. Any violation of the Copyright, Designs and Patents Act is prosecuted.

The National Centre for Contemporary Arts (Kaliningrad Branch, Russia) and the author and compiler express their thanks for the help given in the process of work on this project:

The Museum of Modern Art, New York
 The ZKM Center for Art and Media Karlsruhe, Karlsruhe
 Ars Electronica Festival, Linz
 VIDA: Art & Artificial Life International Awards, Madrid
 The Arts Catalyst, London and Z33, Hasselt
 KIBLA - Association for Culture and Education, Maribor
 The Yamaguchi Center for Arts and Media [YCAM], Yamaguchi

With special thanks to:

Irina Aktuganova	Victor Miziano	Timour Shchoukine
Laura Beloff	Manuela Naveau	Olga Shishko
Ksenia Fedorova	Natalia Nikitin	Asya Shishkova
Reuben Hoggett	Vitaly Patsukov	Karl Sims
Aleksandr Kastorny	Simon Penny	Gerfried Stocker
Aleksandra Kostic	Pavel Philippovsky	Bill Vorn
Anastasija Maksimova	Dmitry Pilikin	Irina Yurna
Julie Martin	Regine Rapp	Anna Zajtseva

The National Centre for Contemporary Arts (Kaliningrad, Russia) expresses its thanks to *ArtBots: The Robot Talent Show* (New York) specifically Mr. Douglas Repetto; *SymbioticA*, The Centre of Excellence in Biological Arts at the School of Anatomy and Human Biology, UWA (Perth) particularly Dr. Iona Zurr for attention, friendly care, and support given in the process of work on this publication.

Individual thanks to Mr. Leonid Bazanov and Mr. Mikhail Mindlin for friendly care given in the process of work on the project, to staff members of the NCCA, Moscow as well as to staff members of the BB NCCA for all of their help: Elena Tsvetaeva, Eugeny Umansky, Irina Pokrant, Julia Bardoun, Irina Tchesnokova, Danil Akimov, Zinaida Scherschun, Vera Kazakova, Galina Kuzmich.

The preparation of the project was made possible on a grant of an association "Künstlerhaus Lukas e.V." that the author received in the framework of an international artists exchange program between partner organizations, the Baltic branch of the National Centre for Contemporary Arts (Kaliningrad, Russia) and Künstlerhaus Lukas Ahrenshoop (Ahrenshoop, Germany). The author extends his sincere gratitude to the team of the Künstlerhaus Lukas and to the director Gerlinde Creutzburg personally for cooperation and support in his work on the anthology.

Photo credits

The editor wishes to thank copyright holders who greatly assisted in this publication, including photographers or their representatives, estates, agencies, foundations, and collecting institutions. Every effort was made to identify and contact individual copyright holders; omissions are unintentional. The following are credits for copyrighted material, listed by the author's last name.

Marina Abramović / Art Orienté Objet / (Art)ScienceBLR / Roy Ascott / James Auger and Jimmy Loizeau / Brandon Ballengee / Laura Beloff / Guy Ben-Ary / David Bowen / Paul Brown / Dmitry Bulatov / Pier Luigi Capucci / Oron Catts / Adrian David Cheok / Sonia Cillari / Laura Cinti / Cohen van Balen / Melinda Cooper / Carlos Corpa and Ana Garcia-Serrano / CAE / Tagny Daff / Ursula Damm / Joe Davis / Michel and André Décosterd / Wim Delvoye / Louis-Philippe Demers / Stefan Doepner and Lars Vaupel / Erwin Driessens and Maria Verstappen / Jalila Essaidi / Donna Franklin / Dmitry Galkin / George Gessert / Ken Goldberg / Matthias Gommel / Isa Gordon / Andrew Gracie / Paul Granjon / Chris Hables Gray / Boris Groys / Jens Hauser / Mateusz Herczka / Garnet Hertz / Kathy High / Adi Hoesle / Jana Horakova / Erkki Huhtamo / Hiroshi Ishiguro / Eduardo Kac / Dmitry Kawarga / Andy Keane / Matt Kenyon and Douglas Easterly / James King and Alexandra Daisy Ginsberg / David Kremers / Kuda begut sobaki / Alison Kudla / William Latham / Norene Leddy / Alvin Lucier / Lawrence Maistaf / Steve Mann / Benoit Maubrey / Jon McCormack / Marta de Menezes / Agnes Meyer-Brandis / Seiko Mikami / Colin Milburn / Robert Mitchell / Dmitry Morozov / Leonel Moura / Marnix de Nijs / Kira O'Reilly / Orlan / Luciana Parisi / Mark Pauline / Simon Penny / Leo Peschta / Andrew Pickering / Steve M. Potter / Lorenz Potthast / Helen Pynor and Peta Clancy / Thomas S. Ray / Julia Reodica / Ken Rinaldo / Marcell Antunez Roca / Philip Ross / Susan Elizabeth Ryan / Gordan Savic / Karl Sims / Maja Smrek / Christa Sommerer and Laurent Mignonneau / Sputnikol / Stelarc / Ivan Sutherland / Jun Takita / Eugene Thacker / Paul Thomas / Timo Toots / Momoyo Torimitsu / Polona Tratnik / Georg Tremmel and Shiho Fukuhara / Paul Vanouse / Kris Verdonck / Victoria Vesna / Ana Viseu / Bill Vorn / Junji Watanabe / Jennifer Willet and Shawn Bailey / Stephen Wilson / Anouk Wipprecht / Doo Sung Yoo / Adam Zaretsky / Iona Zurr / Joanna Zylińska

CONTENTS

010-017	INTRODUCTION Dmitry Bulatov	ART AND SCIENCE AS THE CONJECTURED POSSIBLE
	I. PATENT FOR LIFE: Doorway to the Post-Biological Culture	
020-037	Stephen Wilson	ISSUES IN THE INTEGRATION OF ART, SCIENCE AND TECHNOLOGY
038-049	Roy Ascott	THE TAO OF VARIABILITY: THE MULTIPLE SELF IN A MULTIPLE REALITY
050-063	Pier Luigi Capucci	DECLINATIONS OF THE LIVING: TOWARD THE THIRD LIFE
	II. ARTIFICIAL BUT ACTUAL: Artificial Intelligence and Artificial Life	
066-083	Paul Brown	NOTES TOWARDS A HISTORY OF ART, CODE AND AUTONOMY
084-101	Jon McCormack	EVOLUTIONARY AND A-LIFE ART: COSMIC PYRAMIDS AND THE ORIGATION OF NOVELTY IN MACHINES
102-119	Simon Penny	ART AFTER COMPUTING
	III. LIMITS OF MODELING: Evolutionary Design and WearComp	
122-135	Ana Viseu	WEARCOMPS AND THE INFORMED INFORMATIONAL BODY
136-153	Susan Elizabeth Ryan	EMOTIONAL EXCHANGE: WEARABLE TECHNOLOGY AS EMBODIED PRACTICE
154-169	Laura Beloff	THE BODY IN POSSE: VIEWPOINTS ON WEARABLE TECHNOLOGY
	IV. SHINING PROSTHESES: Robotics	
172-187	Jana Horakova	ROBOT AND KITSCH: FROM THE MYTH OF TECHNOLOGICAL PROGRESS TOWARDS THE MEDIUM OF SUBVERSIVE STRATEGIES OF POSTHUMANISM
188-209	Dmitry Galkin	CYBERNETIC ART IN THE 1950s-60s: ROBOTIC SCULPTURES
210-231	Louis-Philippe Demers	MACHINE PERFORMERS: NEITHER AGENTIC NOR AUTOMATIC
	V. BODY AS TECHNOLOGY: Techno-body Modification and Cyborgization	
234-249	Chris Hables Gray	THE UNCANNY EVOLUTION OF HOMO CYBORG
250-269	Erkki Huhtamo	CYBORG IS A TOPOS
270-287	Stelarc	FRACTAL FLESH / LIMINAL DESIRES: THE CADAVER, THE COMATOSE AND THE CHIMERA

VI. MODULATING A SIGNAL:**From Cybernetics to Neuroengineering**

290-303 Andrew Pickering

304-319 Steve M. Potter

320-335 Thomas S. Ray

BRAINS, SELVES AND SPIRITUALITY
IN THE HISTORY OF CYBERNETICSBETTER MINDS: COGNITIVE ENHANCEMENT IN THE 21ST CENTURY
FUTURE MINDS, MENTAL ORGANS, AND WAYS OF KNOWING**VII. MORE THAN A COPY, LESS THAN NOTHINGNESS:****Bio and Genetic Engineering**

338-359 Jens Hauser

360-373 Robert Mitchell

374-385 Konstantin Bokhorov

TOWARD A PHENOMENOLOGICAL APPROACH TO ART
INVOLVING BIOTECHNOLOGY

BIOART: MEDIA, EVOLUTION, CULTURE

THE PAINFUL SUPREMACY OF THE ETHICAL

VIII. SEMI-LIVING:**Synthetic Biology and Tissue Engineering**

388-397 Oron Catts

398-413 Ionat Zurr

414-427 Melinda Cooper

SYNTHETIC CONTROL – (UN)LIMITED LIFE

IN CONTINUOUS STATE OF SEMI-LIVING: A PARTIAL SURVEY
OF CONTEMPORARY ARTISTS WORKING WITH LIVING TISSUETOPOLOGICAL ARCHITECTURE – TISSUE ENGINEERING
AND THE PERMANENT EMBRYOGENESIS OF FORM**IX. POST-SODOM AND POST-GOMORRAH:****From Nano to the Technological Unconscious**

430-447 Luciana Parisi

448-467 Colin Milburn

468-483 Dmitry Bulatov

NANOARCHITECTURES: THE ARRIVAL

OF SYNTHETIC EXTENSIONS AND THOUGHTS

POSTMORTEM: THE NECROSIS OF NANOTECHNOLOGY

A NEW STATE OF THE LIVING

X. RE-CODING:**Differing from the Future**

486-499 Joanna Zylińska

500-517 Eugene Thacker

518-529 Boris Groys

'INVENTING WELL': CREATIVITY, BIOLOGY AND LIFE
EXO BIOLOGIES

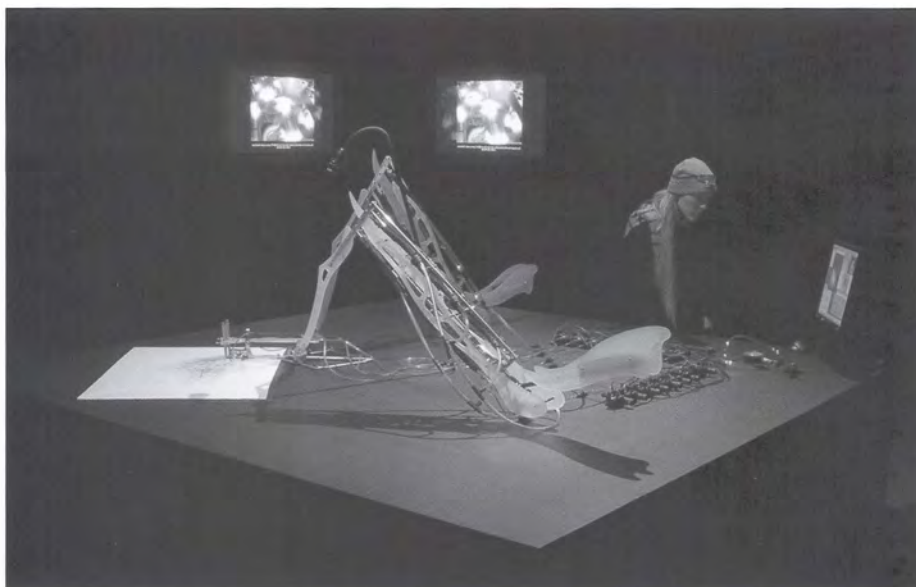
IMMORTAL BODIES: COMMUNIST RESURRECTION

XI. APPENDIX

532-551 BIOGRAPHIES

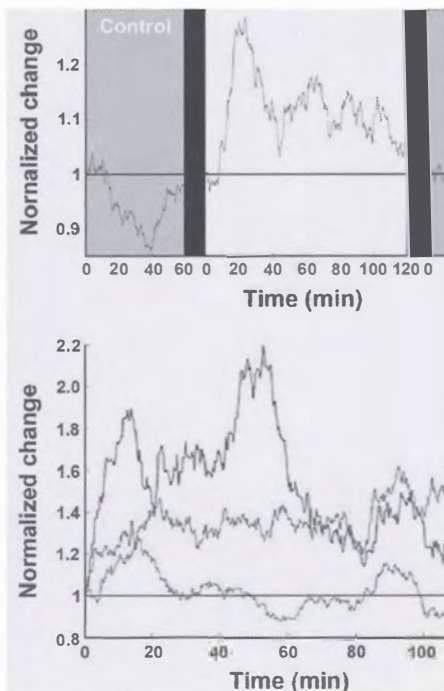
554-559 INDEX OF ILLUSTRATIONS

Группа "SymbioticA" и лаборатория Стива Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г., фрагмент биокбернетической инсталляции. © 2004 г. Фото: Фил Гамблен. SymbioticA Research Group and The Potter Lab, *MEART – The Semi-Living Artist*, ongoing since 2000, bio-cybernetic installation. Image courtesy of the artists. © 2004 Photo by Phil Gamblen.



lem is flooding and weather-related catastrophes we are not presently equipped to deal with. In fact, one could argue that all the land that can't be farmed or even inhabited because it is too cold is a problem that global warming will help solve!

Diseases are a real problem, but not quite the same problem that prehistoric humans faced. Losing teeth 10,000 years ago could quickly lead to starvation. Even an infected scratch from a saber-toothed tiger you escaped from could be lethal without antibiotics. Our modern diet and sedentary lifestyle has introduced a number of health problems that our evolutionary heritage never had to deal with, such as obesity, alcoholism, and heart attacks. Unnatural chemicals in our food and environment cause all sorts of diseases, from cancer to brain damage. And modern competitiveness causes chronic worrying and stress-related illness due to the unnaturally con-



Группа "SymbioticA" и лаборатория Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г. Слева: роботоманипулятор, справа: график нейронной пластичности MEART (вверху), анимата (внизу). Адаптивный алгоритм способствует формированию новых привычек. SymbioticA Research Group and The Potter Lab, MEART – *The Semi-Living Artist*, ongoing since 2000. Left: the robotic arm, right: neuronal plasticity of MEART (top), and of the animat (bottom). The adaptive training algorithm caused plasticity.

проблема? Каждый день мы получаем непосредственно от солнца, с его лучами, намного больше энергии, чем нам необходимо. Дело за малым: преобразовать ее и использовать более эффективно. Глобальное потепление – тоже не вопрос; проблема – это наводнения и климатические катастрофы, способов совладать с которыми у нас пока нет. По сути дела, можно представить ситуацию так, что вся суша, где нельзя вести сельское хозяйство или даже жить, потому что там слишком холодно, – это затруднение, решаемое с помощью глобального потепления!

Болезни – вот реальная проблема, но и это не совсем то же, с чем приходилось иметь дело доисторическим людям. Десять тысяч лет назад потеря зубов могла быстро обернуться голодной смертью. Даже если вы избежали гибели при встрече с саблезубым тигром, любая полученная царапина, воспалившись, могла стать летальной в отсутствие антибиотиков. Современное питание и наш малоподвижный образ жизни породили целый ряд проблем, которых в нашем эволюционном наследии никогда не было: ожирение, алкоголизм и инфаркт миокарда. Искусственные химические соединения в пище и окружающей среде становятся причиной самых разных заболеваний – от рака до нарушений мозговой деятельности. При этом современный дух конкуренции влечет за собой хроническое беспокойство и обусловленные стрессом болезни, причиной которых является аномально затяжное возбуждение симпатической нервной системы (реакция "бей или беги"). Хорошая новость – это то, что мы гораздо лучше научились справляться с болезнями, чем это было еще каких-то два столетия назад. Плохая новость – болезни, как и прежде, остаются потенциальной угрозой для жизни.

Еще одна проблема – война, по-прежнему несущая страдания и смерть. "Благодаря" нашему родоплеменному сознанию продолжают расточаться в борьбе с так называемыми "врагами" неисчислимы людские и материальные ресурсы. Агрессивное поведение и защитные рефлексы, возможно, помогавшие малым племенам наших предков с их скудными ресурсами,

tinuous activation of our sympathetic (fight-or-flight) nervous system. The good news is that we are much better at dealing with diseases than we were even two centuries ago. The bad news is that they still cause much suffering and death.

War is another real problem still causing suffering and death. Thanks to our tribal brains, countless lives and valuable resources continue to be wasted on fighting so-called enemies. Aggressive and defensive instincts that may have helped our ancestors in small tribes with scarce resources are maladaptive today. Feuds linger long past the relevance of their initial causes, whether between two neighbors, two gangs, two nationalities, or two races.

Stop and consider: What would it take to solve the real problems facing modern humans today? It would take major changes in human nature. It would take a major update to our prehistoric brain's hardware and software. I propose that cognitive enhancement brought about by neuroengineering could make us better adapted to the modern world. It could quell our aggression, allow us to appreciate all people, and help us devise new technology: for global distribution of food, water, and energy; for preventing diseases and accidents; for dealing with natural disasters; for seeing both sides of every disagreement.

Natural Cognitive Enhancement

There are (at least) two natural ways to enhance cognition, at very different time scales. Across generations, preferential survival and reproduction of the more clever members of the tribe have resulted in the differences between us and the other Great Apes, i.e., a tremendous expansion of our neocortex endowing us with the capacity for complex language and symbolic thought. It is possible to speed up evolution. Farmers, pet owners and horticulturalists have been doing this for centuries: selective breeding. It is unlikely that this approach will ever be popular for enhancing human intelligence. In fact, when modern medicine keeps alive a person who is about to die from a foolish accident or bad decision, and they go on to have offspring, the overall intelligence of the human gene pool is diminished. Thanks to medical advances, evolution is actually heading backwards in some ways.

On the shorter time scale of one lifetime, learning from others or from experience can make one wise and capable. Learning produces immediate results, and because everyone already uses this form of cognitive enhancement, it will be comparatively easy to promote the idea of better and faster learning through neurotechnology.

Neurotechnology for Better Learning

What is a thought? What is a memory? We know surprisingly little about such basic and fundamental aspects of our nervous system. Thousands of neuroscientists are working hard across the globe to reveal the secrets of what is often described as the most complex thing we know of, the brain. In the Laboratory for Neuroengineering at Georgia Tech, [1] we are trying to add a few pieces to the puzzle of how learning works, and how to improve it. As a model for human brains, we study simple nervous systems of a few thousand neurons and glial cells in vitro. The Petri dishes we use have arrays of microelectrodes embedded under the cells, through which we can deliver artificial sensory input to the neuronal networks cultured on them. We can also record electrical activity patterns in these cultured neural networks, and try to decode the patterns with powerful microscopes and computers.

Hybrid Neural Systems

By interfacing the cultured networks to robots or simulated animals, we can study their behavior, and try to induce changes that represent simple forms of learning. In the year 2000 at Caltech, we developed the first hardware and software to "embody" cultured networks, to allow their activity

не адекватны сегодня. Междоусобные распри продолжаются и тогда, когда их первопричина давно потеряла важность, будь то отношения двух соседей, двух группировок или двух рас.

Остановимся и задумаемся: что могло бы понадобиться для того, чтобы решить реальные проблемы, стоящие перед людьми сегодня? Потребовались бы кардинальные изменения человеческой природы. Было бы необходимо основательное обновление "аппаратного" и "программного" обеспечения нашего доисторического мозга. Я утверждаю, что когнитивное усиление, которое несет нам нейроинженерия, могло бы сделать нас более приспособленными к современному миру. Благодаря такому усилению мы бы подавили в себе агрессию, научились понимать других людей, изобрели новые технологии – для глобального распределения продуктов питания, воды и энергии; для предотвращения болезней и чрезвычайных происшествий; для противодействия стихийным бедствиям; для того, чтобы понимать обе стороны в любом споре.

Естественное когнитивное усиление

Есть по меньшей мере два естественных пути для усиления когнитивной способности, существующих в совершенно разных масштабах времени. За много поколений преимущественные потребности выживания и воспроизводства более развитых умственно членов племени привели к различиям между нами и прочими высшими приматами, т.е. к небывалому расширению неокортекса*, наделившему нас способностями к сложному языковому и знаковому мышлению. Эволюцию можно ускорить. Фермеры, специалисты по домашним животным и растительным культурам занимаются этим – а именно селекционным разведением – уже сотни лет. Но вряд ли данный подход когда-либо станет популярным в усилении человеческих умственных способностей. По существу, когда современная медицина возвращает к жизни человека, который должен умереть в результате нелепой случайности или неверного решения, и он впоследствии обзаводится потомством, общий интеллектуальный уровень генофонда снижается. В каком-то смысле успехи медицины движут эволюцию в обратном направлении.

В более коротких временных рамках одной жизни, научение от других людей может сделать индивида мудрее и способнее. Обучение дает немедленные результаты, и поскольку эта форма когнитивного усиления давно всеми используется, будет сравнительно несложно внедрить идею более качественного и быстрого обучения с помощью нейротехнологий.

Нейротехнологии для более качественного обучения

Что такое мысль? Что такое память? Мы поразительно мало знаем об этих базовых, фундаментальных аспектах своей нервной системы. Во всем мире тысячи ученых-неврологов трудятся не покладая рук над раскрытием секретов того, что часто называют наиболее сложным из известных нам естественных устройств, – мозга. У себя в лаборатории нейроинженерии Технологического института Джорджии [1] мы пытаемся добавить какие-то недостающие фрагменты в пазл о том, как работает процесс познания и как его улучшить. В качестве модели человеческого мозга мы исследуем *in vitro* простые нервные системы из нескольких тысяч нейронов и глиальных клеток**. Используемые нами чашки Петри снабжены массивами микроэлектродов, образующих поверхность подложек, через которые обеспечивается искусственный сенсорный ввод в нейронные культуры, выращенные на этой матрице. Мы можем также записывать образцы электрической активности этих нейронных культур и пытаемся расшифровывать данные формы с помощью мощных микроскопов и компьютеров.

Гибридные нейросистемы

Устанавливая двустороннюю связь между нейронными культурами и роботами (или симуляторами животных), мы имеем возможность изучать поведение нервной ткани и стремимся



Группа "Symbiotica" и лаборатория Стива Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г. Мозг "MEART" – культура, состоящая из нескольких тысяч корковых нейронов эмбриона крысы и 60 микроэлектродов. SARG and The Potter Lab, MEART – *The Semi-Living Artist*. MEART's brain: a network of a few thousand neurons from a rat embryo, and 60 tiny electrodes.

ся вызывать в ней изменения, представляющие собой простейшие формы приобретения знаний. В Калифорнийском технологическом институте в 2000 году мы впервые создали аппаратное и программное обеспечение для "телесного воплощения" этих культур, позволяющее преобразовывать нейронную активность в движение робо-рук или колесного механизма, а также осуществлять "обратную связь", передавая сигналы от сенсоров электромеханического "тела" на нервные клетки. Одним из таких гибридных роботов, или "гибровтов", был "MEART – Полуживой художник"****. Объединив усилия с арт-лабораторией Symbiotica [2], мы подключали через Интернет рисующую робо-руку к нейронным культурам, находившимся порой за тысячи километров от нее. Мы рассчитывали запустить процесс познания в живой ткани мозга MEART'a, посылая на нервные клетки раздражающие электрические воздействия, основанные на том, что видит видеокамера в процессе рисования. Из рисунков, выполненных MEART'ом, неясно, смогла ли вы-

patterns to move robotic arms or wheels, and to translate data from the robots' sensors into electrical stimulation patterns for the networks. One such hybrid robot, or "hybrot", was MEART, the Semi-living Artist. In collaboration with Symbiotica, [2] we connected a robotic drawing arm to cultured networks, sometimes thousands of miles apart, via the internet. We hoped to induce learning in MEART's living biological brain, by sending the culture dish stimulation based on what its video camera eye saw of the drawing in progress. Judging from the types of drawings MEART produced, it is not clear much learning was happening, but the complexity of behavior produced by a network of even a few thousand brain cells was surprising. Like a classroom full of preschoolers, each network we hooked up as MEART's brain produced its own unique style of scribbles.

Learning in Embodied Cultured Networks

Cultured neuronal networks, without a body and sense organs, are growing in sensory deprivation. Like a person put into solitary confinement in a dark cell, they go crazy. Without natural inputs, they develop activity patterns that resemble epileptic seizures, called network bursts. During these bursts of activity, the neurons fire pathological signals in synchrony, which make it difficult for the hybrot's sensory input to influence their behavior. We noticed that a culture that was being used to control MEART, after days of receiving stimulation fed back via the internet from its video camera eye, began to calm down, showing less and less epileptiform activity. We found we could quell the barrages of activity in all of our cultured networks by sprinkling low-frequency pulses of electricity across the network, delivered via the substrate electrodes. In some sense, this restored the natural level of background activity to the cultured networks, analogous to what an intact nervous system would receive from the animal's senses. Thanks to the burst-quieting background stimulation, networks no longer exhibited continuous seizure-like activity, and they were more responsive to artificial sensory input. This, in turn, made them more amenable to studying learning and information processing in vitro.

With the burst-quieting stimulation protocol, we were then able to reliably alter the behavior of embodied cultured networks with artificial inputs. We used patterns of electrical impulses to train a hybrot to navigate in a pre-specified direction. It was a simple task for a simulated animal controlled by a few thousand living brain cells, but a major advance for neuroscience. We now have a simple model biological system to study learning mechanisms, whose entire brain is laid out flat on a glass surface where one can easily watch it under the microscope while it is doing the learning.

ращенная нейроструктура извлечь какой-либо опыт, но сложность поведения, продемонстрированного сетью из всего лишь нескольких тысяч нервных клеток, была впечатляющей. Как дети в дошкольной группе, каждая культура, предлагавшаяся нами MEART'у в качестве мозговой субстанции, являла свой индивидуальный стиль рисования.

Обучение в воплощенных культурах

Выращенные нейронные культуры, лишенные тела и органов чувств, развиваются в условиях чувственной депривации. Как человек, подвергнутый одиночному заключению в темной камере, они сходят с ума. В отсутствие нормальной входной информации у них развиваются формы активности, напоминающие эпилептические припадки и именуемые "вспышками" сети. Во время этих кризов нейроны синхронно посылают патологические сигналы, мешающие входной сенсорной информации гибриотов влиять на поведение последних. Мы заметили, что культура, использовавшаяся в MEART'е, после нескольких дней обратной стимуляции сигналами, полученными посредством Интернета с внешней видео камеры, начинала успокаиваться, показывая все меньше и меньше эпилептиформной активности. Мы также обнаружили, что можем подавлять барьеры активности во всех выращенных нейроккультурах, рассеивая низкочастотные электроимпульсы по всей культуре через электродную подложку. В каком-то смысле при этом восстанавливался естественный уровень фоновой активности в культурах, подобно тому как нормальная нервная система воспринимала бы сигналы от органов чувств животного. Благодаря фоновой стимуляции, гасящей электровспышки, культуры уже не показывали непрерывной, похожей на припадок активности и лучше реагировали на вводимую сенсорную информацию. Это, в свою очередь, делало их более склонными к обучению и обработке информации *in vitro*.

Используя методы стимуляции, подавляющие вспышки активности, мы, соответственно, могли уверенно изменять поведение воплощенных культур с помощью искусственно вводимой информации. Мы оперировали различными наборами электрических импульсов для отработки навыков перемещения гибриота в заданном направлении. Для симулятора животного, управляемого несколькими тысячами живых мозговых клеток, задача была несложной, но для нейронауки это заметный шаг вперед. Теперь у нас есть модель простой биологической системы для исследования механизмов приобретения опыта, мозг которой выложен тонким слоем на поверхности подложки – его работу в процессе запоминания новой информации можно наблюдать через микроскоп.

Intact animals are used by many neuroscientists to study learning mechanisms, but their complexity makes it much harder to control all the variables in an experiment. Unlike behaving animals, whose constantly moving brains are hard to image under the microscope, hybrid brains have simple, stationary brains separated spatially from their robotic or computer-generated bodies. In the case of MEART, this separation was often thousands of miles. These experiments with *embodied cultured networks* have shown that an important aspect of the embodiment is for the neural-robotic system to be a closed loop. That is, the neural activity affects the robot's movement, the movement affects the robot's relation to its environment, the neuronal network receives new sensory input, and the sensory input then alters its neural activity, generating new movements, and so on. By actively sensing and interacting with our environment, humans can learn most effectively, and the same seems to be true for the hybrids.

To close the loop between cultured networks and computers, we had to build our own custom neural interfacing hardware and software. Others creating brain-computer interfaces for animal research closed the loop using natural sensory input via the animal's own visual system, instead of the electrical stimulation used to provide artificial sensory input to hybrids. The closed-loop neural interfacing technology we, and others have built for research purposes will help us understand basic mechanisms of learning and information processing in the brain, so we can begin to look for ways to improve it. This technology will form the basis of future devices designed to alter neural activity in humans, to enhance cognition in a variety of ways.

Cyborgs Walk Among Us

In the brains of thousands of patients, electrodes have been implanted for clinical treatments and diagnoses. Deep-brain stimulation (DBS) is being used to treat a number of neural disorders, such as Parkinson's disease and chronic pain, and even cognitive problems including depression, memory problems, and obsessive-compulsive disorder. Such devices are the descendants of pioneering research in the 50s by James Olds and Peter Milner, who found they could hijack the brain's natural reward circuits with electrical stimulation in certain regions, causing lab rats to become addicted to pressing levers to get small but intensely rewarding jolts of electricity. Because of the brain's incredible complexity, researchers and clinicians are still mapping out the effects of electrical stimulation of various brain circuits. The deep brain stimulators currently used are not much different from heart pacemakers, continually delivering pulses of electricity to normalize activity in some malfunctioning circuit. They are not very sophisticated, with

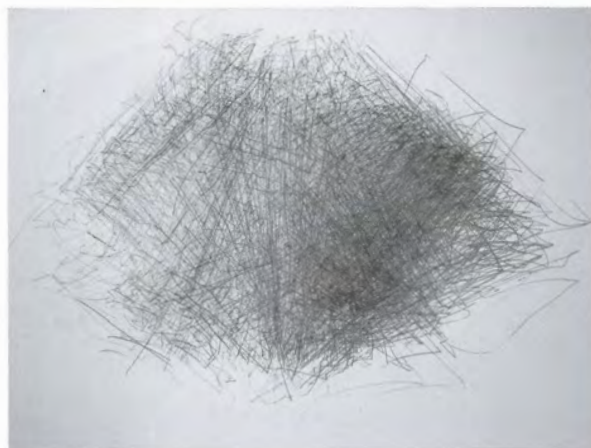
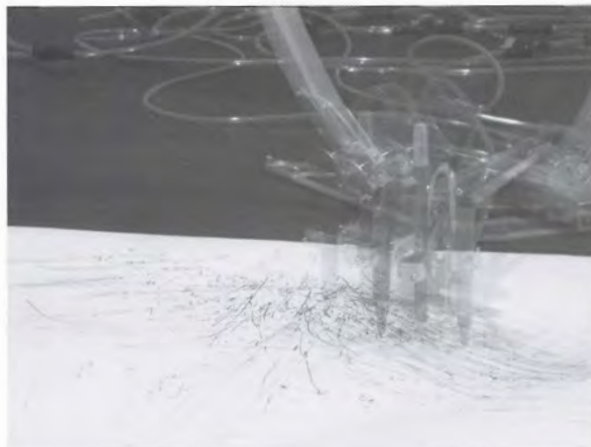
Группа "Symbiotica" и лаборатория Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г. Фрагмент: роботоманипулятор. © 2002 г. Фото: Фил Гамблен. Symbiotica Research Group and The Potter Lab, MEART – The Semi-Living Artist, ongoing since 2000. The Robotic Arm, Biofeel. © 2002 Photo by Phil Gamblen.

Многие ученые-неврологи в своих изысканиях, посвященных принципам накопления памяти, используют полных животных, однако сложность их поведения серьезно затрудняет контроль над всеми переменными в эксперименте. В отличие от животных, мозг которых постоянно находится в движении и поэтому его картину трудно отследить под микроскопом, гибриды обладают простым стационарным мозгом, пространственно удаленным от своего тела, будь то электромеханический аналог или его компьютерное подобие. В случае MEART'a это удаление зачастую составляло тысячи миль. Эти эксперименты с искусственно выращенными и телесно-воплощенными культурами показали, что важным моментом для реализации нейро-робототехнической системы является наличие в ней обратной связи. Другими словами, нервная деятельность оказывает воздействие на движения робота, движения влияют на взаимоотношения робота с окружающей средой, нейронная сеть получает новую входную сенсорную информацию, после чего эта информация изменяет нервную деятельность, вырабатывая новые движения, и так далее. Активно ощущая окружающую среду и переводя эти ощущения в "информацию", люди могут обучаться более эффективно, и это же представляется справедливым в отношении гибридов.

Чтобы замкнуть контур между живой тканью и компьютерами, мы разработали специальное аппаратное и программное обеспечение для создания нейроинтерфейса. Наши коллеги, исследующие поведение животных, обычно устанавливают интерфейс "мозг-компьютер", замыкая этот контур посредством естественного сенсорного ввода через визуальную систему животного, а не путем электростимуляции, которая обеспечивает искусственный сенсорный ввод информации гибридам. Технология создания нейроинтерфейса с обратной связью, выработанная нами и другими специалистами в исследовательских целях, поможет разобраться в основных механизмах накопления, хранения и обработки информации в мозгу, чтобы мы могли перейти к поиску способов совершенствования последнего. Эта технология станет основой будущих устройств, разрабатываемых для изменения нервной деятельности людей и усиления познавательных способностей самыми разными путями.

Киборги среди нас

В мозг тысяч пациентов вживляются электроды для клинической терапии и диагностики. При лечении целого ряда



only four electrodes, each one millimeter across, designed for stimulating but not recording neural activity. In contrast, the culture dishes we use in the Neurolab have 60 microelectrodes, each only 30 microns across, that can both record and stimulate with whatever complex stimuli we wish to deliver.

The brain stimulators of tomorrow will, like our multi-electrode array culture dishes, have large arrays of microelectrodes for more delicate, finessed stimulation that is tailored to a person's unique brain circuitry. Like our embodied cultured networks, they will be closed-loop, always monitoring ongoing neural activity and automatically adjusting their stimulation to meet the changing needs that arise from a person's varied activities and bodily states.

It is not hard to imagine taking brain stimulation from the clinic to something used routinely by normal people, to enhance

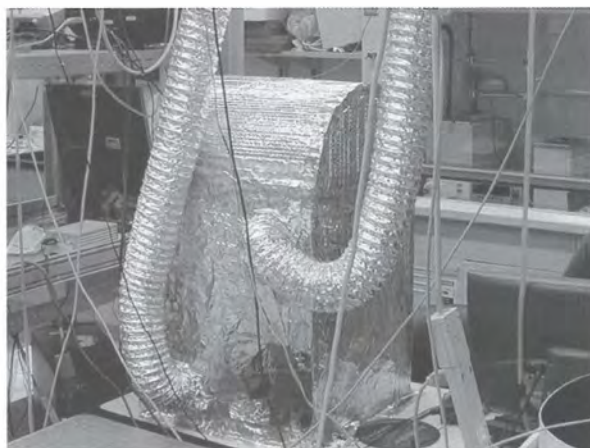
неврологических расстройств, таких как болезнь Паркинсона и хронические боли, и даже для снятия когнитивных проблем, включая депрессию, нарушения памяти и обсессивно-компульсивные расстройства, применяется глубокая стимуляция мозга (ГСМ). Используемые для этого устройства восходят к 1950-м годам и экспериментам Джеймса Олдса и Питера Милнера, которые обнаружили, что при помощи электростимуляции определенных участков мозга можно воздействовать на естественные цепи удовольствия, заставляя лабораторных крыс бесконечно нажимать рычаг, каждый раз посылая в мозг слабый приятно раздражающий электрический разряд. В силу невероятной сложности мозга, исследователи и практикующие врачи до сих пор продолжают составлять картину эффектов электростимуляции различных цепей мозга. Применяемые в наши дни глубокие стимуляторы мозга действуют подобно кардиостимуляторам, постоянно выдавая электрические импульсы для нормализации деятельности той или иной проблемной цепи. Они не очень сложные, имеют всего четыре электрода диаметром один миллиметр и служат для стимуляции, но не записи, нервной деятельности. В нашей же нейробиологической лаборатории чашки с культурой имеют по 60 микроэлектродов, каждый всего лишь 30 микрон в диаметре, которые могут как записывать, так и выполнять стимуляцию любого уровня сложности.

Мозговые стимуляторы будущего, подобно нашим нейрокультурам с мультиэлектродными решетками, будут снабжены большими массивами микроэлектродов для более тонкого и точного воздействия в соответствии с индивидуальной мозговой организацией конкретного человека. Как и наши воплощенные культуры, они будут обладать обратной связью, непрерывно следя за мозговой активностью и автоматически подстраивая уровень возбуждения в нужном направлении в соответствии с изменениями в текущей деятельности и телесных состояниях человека.

Нетрудно себе представить, как мозговая стимуляция выходит за пределы клиник, становясь чем-то обыденно используемым людьми для усиления своих когнитивных способностей. По аналогии с крысами Олдса, мы могли бы попробовать усилить нужные и полезные в современном мире поведенческие свойства посредством своевременного воздействия на наш центр удовольствия в качестве награды за какие-то свершения. Конечно, придется иметь дело с той же проблемой привыкания, что возникла у крыс,

their cognition. Like Olds' rats, we might try to reinforce behaviors that are productive and helpful in the modern world, by well-timed stimulation of our reward circuitry after accomplishing something of merit. Of course, the same potential for addiction that the rats faced will be a problem, as well as the potential for powerful brainwashing or other "mind control" scenarios.

By delivering complex patterned stimulation to the brain through arrays of microelectrodes, as we now do routinely in our embodied cultured networks, we could artificially exercise or train certain brain circuits. This might first be used to aid recovery from stroke or head trauma, by strengthening weakened circuits, or re-mapping neural function to work around the damage. Michael Merzenich and others have demonstrated how plastic the cerebral cortex is, even in adults. They have developed therapeutic behavioral training video games that



Группа "SymbioticA" и лаборатория Стива Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г. Вверху: система жизнеобеспечения мозга "MEART"; внизу: мультиэлектродный массив. © 2004 г. Фото: Стив Поттер. SARG and The Potter Lab, MEART – The Semi-Living Artist. Top: Life-support system for MEART's brain, bottom: neurons on MEA. © 2004 Photo by Steve Potter.

потенциальной опасностью мощной промывки мозгов или другими сценариями “контроля разума”.

Подвергая мозг сложной структурированной стимуляции с помощью массива микроэлектродов, как мы по обыкновению проделываем это с нашими воплощенными культурами, мы могли бы искусственным образом тренировать или развивать определенные зоны мозга. Эту процедуру можно было бы использовать, прежде всего, при реабилитации после инсульта или травмы головы, укрепляя ослабленные цепи или реорганизуя нервные функции для работы на поврежденном участке. Майкл Мерцених и другие показали, насколько пластична кора головного мозга даже у взрослых. Они разработали видеоигры для терапевтического тренинга поведения, нормализующие обработку мозговых сигналов у детей с дислексией и улучшающие память пожилых людей [3]. При использовании этих компьютерных программ успех достигается за счет беспрестанных усилий и ежесекундного внимания к процессу. А ведь можно предположить, что те же зоны мозга активируются не при помощи глаз и ушей, а посредством искусственной стимуляции. Когда процедура коррекции поврежденных участков мозга с использованием электростимуляции станет привычной и надежной, можно будет применять ее к обычным людям для расширения индивидуальных способностей. Сложно-структурированная стимуляция может служить в качестве искусственного сенсорного ввода, исполняя роль новых органов чувств или улучшая уже имеющиеся. Может быть даже информацию или новые навыки можно будет получать искусственным путем – гораздо быстрее или с меньшими усилиями, чем это происходит в традиционном процессе обучения посредством зрения, слуха и осязания.

Микродозы для изменения мозговой деятельности

Благодаря тому, что часть естественной коммуникации нейронов происходит электрическим способом (потенциал действия), электростимуляция оказывается весьма полезной в изучении вопросов работы мозга и методов воздействия на него (как это было описано выше). Однако другая составляющая естественной коммуникации нейронов (нейромедиаторы) – это химические вещества. В воздействии на функции мозга при помощи химических соединений нет ничего нового, особенно в современном мире, где так распространены кофеин, алкоголь и табак. С широким внедрением таких инструментов, как автоматическое дозирование лекарств (например, инсулиновый насос вводит инсулин, реагируя на меняющиеся уровни глюкозы), появится возможность более тонкого контроля над активностью мозга и над процессами усиления его работы.

normalize signal processing in dyslexic children and improve memory in the aged. [3] These computer programs require diligent effort, and constant attention to the training, to be successful. One can imagine activating the same brain circuits, not through the eyes and ears, but via artificial stimulation. Once it becomes common and reliable to improve damaged brain circuits with electrical stimulation, it may be employed by normals to enhance their existing capabilities. Complex, patterned stimulation can serve as artificial sensory input, endowing us with new types of senses or amplifying those we already have. Perhaps even information or new skills could be artificially learned, much faster or with less effort than the traditional way of learning by seeing, hearing, and doing.

Micro-doses to Alter Brain Activity

Thanks to the fact that part of neurons' natural communication is electrical (the action potential), electrical stimulation has proven to be very useful for studying and influencing the brain, as described above. But other components of neurons' natural communication (neurotransmitters) are chemicals. Influencing brain function with chemicals is nothing new, especially in the modern world where caffeine, alcohol, and tobacco are ubiquitous. Advances such as closed-loop drug delivery, like an insulin pump that injects insulin as a function of changing glucose levels, will allow more sophisticated control of brain function and enhancement.

Present-day drugs for treating disorders of the brain are a blunt instrument. We may wish to target only a tiny subset of the brain's 100 billion neurons, yet all of them (and the entire body) are bathed in the drug. Clever chemists are designing neuroactive pharmaceuticals with fewer side effects and better targeting, but the most effective drugs of the future will be those delivered by devices implanted in the brain. These will release well-timed tiny doses only to the specific circuits that we wish to influence. In fact, the brain itself is already wired to do this. There are a number of modulatory brain regions that release minute but very effective amounts of an endogenous drug, such as dopamine, endorphins, or norepinephrine, onto very specific brain circuits to effect changes in their function. These are the neuromodulators that wake us up, change our mood, get us moving in an emergency, and help us remember important things. Neuro-active drugs of the future will be delivered in a similar manner, in small, well positioned doses via microscopic devices implanted in the brain. As with electrical stimulation, this will be done in closed-loop fashion, with the release of a drug being triggered by some physiological measurement, to ensure continually appropriate, personalized modulation of brain function. They will also be under some degree of voluntary control by the “implantee”.

Существующие сегодня медикаменты против нарушений мозговой деятельности – это тупое орудие. К примеру, нас может интересовать крохотная подгруппа в общем массиве из 100 миллиардов нейронов мозга, а лекарство распространяется на весь этот массив (и на все тело). Хорошие фармацевты достигают определенных успехов в разработке нейроактивных препаратов с меньшим числом побочных эффектов и более точным воздействием, но самыми эффективными лекарствами будущего станут те, что доставляются устройствами, вживленными в мозг. Такие устройства будут выдавать точно рассчитанные по времени миниатюрные дозы препарата только в нужные нам цепи. Собственно мозг сам по себе уже приспособлен для этого. Есть целый ряд модулирующих участков мозга, которые выделяют малые, но весьма эффективные количества эндогенов, таких как допамин, эндорфины или норэпинефрин, в очень специфические мозговые цепи, чтобы вызвать изменения в их функционировании. Это те нейромодуляторы, которые пробуждают нас от сна, изменяют наше настроение, заставляют быстрее реагировать в экстренных ситуациях и помогают запомнить важные вещи. Нейроактивные лекарства будущего будут доставляться точно так же – малыми узконаправленными дозами через микроскопические устройства, вживленные в мозг. Как и в случае с электростимуляцией, это будет происходить в замкнутом контуре, где выделение лекарства инициируется неким физиологическим показателем, непрерывно обеспечивая необходимую персонализированную модуляцию мозговой функции. Также будет предусмотрена определенная степень произвольного управления со стороны самого носителя имплантата.

Магнитная стимуляция мозга

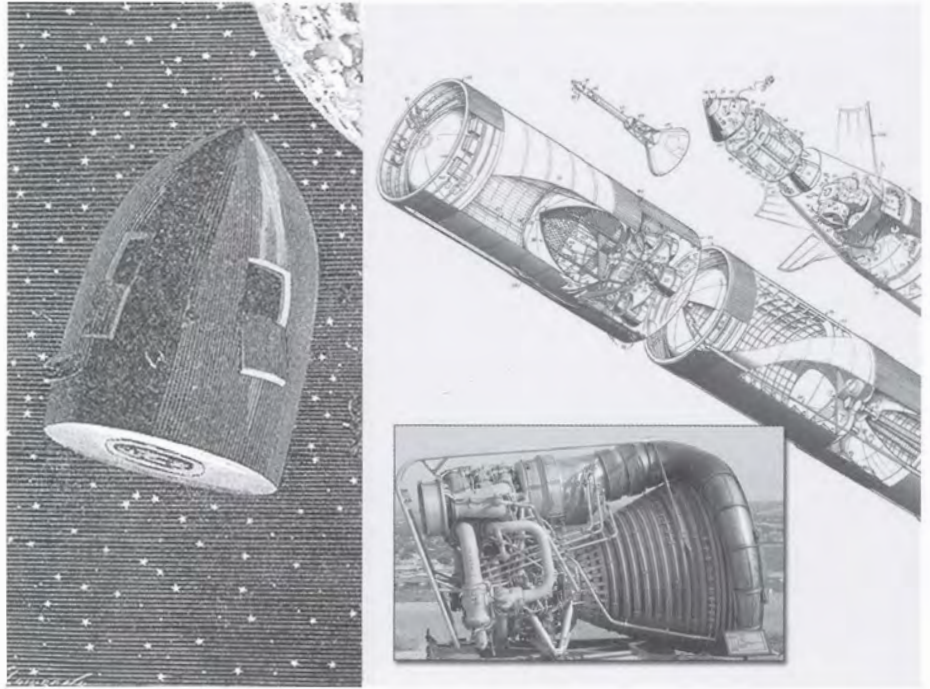
Направляя в мозг магнитные импульсы, можно изменять его активность; это похоже на электростимуляцию, но здесь не требуется ничего имплантировать. В наши дни транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) переходит из разряда инструментов исследования в клиническую практику. Нынешние ТМС-устройства представляют собой громоздкие мотки провода в виде восьмерки; размещенные позади головы пациента, они напоминают уши Микки-Мауса. Магнитные стимуляторы могут одновременно возбуждать только один участок мозга диаметром несколько миллиметров. Интенсивность магнитного поля этих устройств пока не позволяет им проникать в кору головного мозга глубже нескольких сантиметров от ее внешней поверхности. Побочные эффекты их воздействия существенны, включая дискомфорт кожи головы, возможную потерю слуха в результате громкого щелканья, а также непредсказуемо возникающие мышечные спазмы. Несмотря на это, ТМС успешно применяется для лечения депрессии у некоторых пациентов. Если оптимизировать конструкцию катушек и импульсный режим, ТМС, в принципе, может стимулировать любую часть мозга неинвазивно, высвобождая нужные эндогенные нейрoхимикаты или изменяя текущую деятельность подобно глубокой мозговой стимуляции (ГМС).

Все электрические, химические и магнитные средства усовершенствования функций мозга пока находятся в зачаточном состоянии, но обладают огромным потенциалом для куда как более активного применения по мере перехода к более сложным технологиям и методам [4]. Мы стоим на самой ранней стадии технологического усложнения; это как космические путешествия для людей 1800-х. У Жюль Верна ракета для полета на луну – это полый снаряд, набитый космонавтами, который выстреливается из очень большой пушки. На самом же деле, способ попасть на Луну оказался намного сложнее и потребовал немало циклов доводки.

Стимуляция нейронов светом

Некоторое представление о том, каких революций в контроле над мозгом мы можем ожидать в XXI веке, дает оптогенетика. Этот термин, до 2006 года никому не известный, отно-

Лунная ракета в представлении Жюль Верна: полый снаряд, 1874 г. (слева), и ракета-носитель "Сатурн-V" программы "Аполлон", 1969 г. (справа, с крупным планом двигателя), доставившая астронавтов на Луну. Jules Verne's conception of a moon rocket: a hollow bullet, 1874 (left), compared to the *Apollo Saturn V* rocket, 1969 (right, and closeup of its rocket engine in inset) used to transport astronauts to the moon.



Magnetic Stimulation of the Brain

By sending magnetic pulses into the brain, its activity can be altered, in a similar fashion to electrical stimulation, but without the need to implant anything. Trans-cranial magnetic stimulation (TMS) is presently moving from being a research tool to a clinical treatment. The TMS devices being used are cumbersome figure-8 coils of wire resembling big Mickey Mouse ears when held behind a person's head. They can only excite one brain region at a time, a few millimeters across. They cannot presently reach brain structures beneath the outer few centimeters of the brain. Their side effects are substantial, including discomfort in the scalp, potential hearing loss due to their loud clicking, and seizures induced occasionally and unpredictably. Despite all this, TMS is being used to successfully treat depression in some patients. With better coil design and pulse sequences, TMS could potentially stimulate any part of the brain non-invasively, causing the release of desirable endogenous neurochemicals or altering ongoing activity in a manner similar to DBS.

Electrical, chemical, and magnetic means to improve brain function are all at a very rudimentary stage, but have tremendous promise to be much much more useful by moving to more sophisticated technologies and techniques. [4] We are at the infancy of our technological sophistication, analogous to space travel in the 1800s. Jules Verne envisioned a rocket to the moon as a hollow projectile full of space men, shot from a very large cannon. What it actually took to get to the moon was much more complicated and required many cycles of refinement.

Stimulating Neurons with Light

A glimpse into the type of revolutions we can expect in brain control in the 21st century is provided by optogenetics. This term, unheard of before 2006, refers to a neural stimulation technique that is becoming a very popular research tool in neuroscience. It has the potential to make

сится к способу нервной стимуляции, который становится очень популярным инструментом исследования в нейронауке. В нем есть потенциал, чтобы сделать электрическую и магнитную стимуляцию безнадежно устаревшими. Если к гену, выделенному из светочувствительных морских водорослей или бактерий, добавить фрагмент ДНК нейрона, последний можно будет "включать" и "выключать" по желанию при помощи света определенной длины волны. Эти кусочки созданной методами генетической инженерии ДНК, или оптогенетические конструкторы, можно вставлять в хромосомы мозговых клеток, используя вирус в качестве вектора, чтобы внедрить ген в клетку и провести операцию по сращиванию гена. (Такие вирусные векторы находятся в отключенном состоянии, чтобы предотвратить их репликацию.) Карл Диссерот и Эдвард Бойден показали, что мозговые цепи мыши, трансфицированные оптогенетическими векторами, могут активироваться светом, доставленным оптоволоконным способом. Эти исследователи разработали оптогенетические конструкторы, которые способны вызывать активацию нейронов световым пучком одной длины волны и запрет – другой длиной волны. Одним из наиболее мощных аспектов данного генно-терапевтического подхода к изменению нервной функции является то, что с ним можно воздействовать на клетки определенного типа. Мозг содержит множество типов нейронов, служащих разным целям. Электроды и магнитные импульсы имеют свойство активировать их все без разбора. Однако с помощью оптогенетики ученые могут избирательно активировать или запрещать активность генетически определенных популяций нейронов. Волоконная оптика может быть тоньше человеческого волоса (менее 0,1 мм, в то время как диаметр электрода ГМС – около 1 мм), поэтому совокупность активированных нейронов может также быть определена пространственно. Стекловолокно более биосовместимо, неже-



Нейротика (Фил Гамблен, Гай Бен-Ари и коллектив лаборатории нейроинженерии Стива Поттера). "Тихое препятствие", 2009 г. Биокибернетическая инсталляция. © 2009 г. Фото: Фил Гамблен. Neurotica Collective (Phil Gamblen, Guy Ben-Ary and scientists from Steve Potter's Lab), *Silent Barrage*, 2009, bio-cybernetic installation. © 2009 Photo by Phil Gamblen.

ли живящие металлические электроды, которые могут вызвать иммунную реакцию и оказаться в оболочке из рубцовой ткани, снижающей их эффективность.

Считывание мозговой активности при помощи света

На столь же экспериментальной стадии находятся генетические конструкторы для зондирования нервной активности светом. В этом случае фрагмент ДНК, взятый от медуз, вырабатывающих флуоресцентные белки, соединяется с кодом ДНК потенциал-чувствительных ионных каналов, которые уже есть у нейронов. Теперь, когда каналы чувствуют нервную активность, для нейрона, трансфицированного этим конструктором, цвет присоединенного флуоресцентного белка слегка меняется. Эти потенциал-чувствительные флуоресцентные белки могли бы трансфицироваться вместе с описанными выше оптогенетическими конструкторами, позволяя имплантированным оптическим волокнам не только модулировать нервную деятельность, но и считывать информацию о текущей активности или об ответных реакциях на оптическую стимуляцию.

Есть и другие, подразумевающие меньшую степень вторжения в организм, способы считывания мозговой активности с помощью света, пропускаемого через кожу головы; здесь используется свойство крови менять цвет на активных участках мозга по мере уменьшения уровня насыщения крови кислородом. В настоящее время эта спектроскопия в ближней инфракрасной области имеет очень ограниченное разрешение, как пространственное, так и временное, но с развитием оптики она будет находить все большее применение. Подобно электродам, которые могут как стимулировать, так и записывать нейронную активность, оптические мозговые интерфейсы для двусторонней связи сделают возможным создание систем замкнутого контура с непрерывной тонкой подстройкой производимого ими воздействия для оптимизации функций.

Изменение человеческой природы

Всем нам из личного опыта известно ощущение себя "другим человеком" после принятия любимого психоактивного напитка, будь то кофе, чай или, скажем, алкоголь. Нет сомнения в том, что фармакология может быть (и часто является) средством изменения нашего уровня счастья, нашей продуктивности или нашей коммуникабельности. Когда-нибудь у нас будет такая геновая инженерия, которая позволит вызывать более долговременные изменения человеческой природы. На горизонте когнитивного усиления гораздо ближе к нам находятся средства на основе нейронной инженерии, служащие для изменения того, как мы чувству-

electrical and magnetic stimulation of the brain obsolete. By splicing a gene from certain light-sensitive algae or bacteria into a neuron's DNA, the neuron can be switched off and on at will, with light. These pieces of genetically-engineered DNA, or optogenetic constructs, can be inserted into brain cells' chromosomes using a virus as the vector, to carry the gene into the cell and do the gene splicing operation. (Such viral vectors have been disabled to prevent them from replicating.) Karl Deisseroth and Edward Boyden have shown that mouse brain circuits transfected with optogenetic vectors can be activated by light delivered through fine fiber optics. They have developed optogenetic constructs that can cause neurons to be activated with one color of light, and inhibited by another color. One of the most powerful aspects of this gene-therapy approach to altering neural function is that it can be targeted to very specific cell types. The brain has many different types of neurons that serve different purposes. Electrodes and magnetic pulses tend to activate all of them indiscriminately. However, with optogenetics, scientists can selectively activate or inhibit a genetically-defined population of neurons. Fiber optics can be thinner than a human hair (less than 0.1 mm; a DBS electrode is ~ 1 mm in diameter) so the pool of activated neurons can also be spatially defined. Glass fibers are more biocompatible than implanted metal electrodes, which can cause an immune reaction and become encapsulated by scar tissue that reduces their effectiveness.

Reading Brain Activity with Light

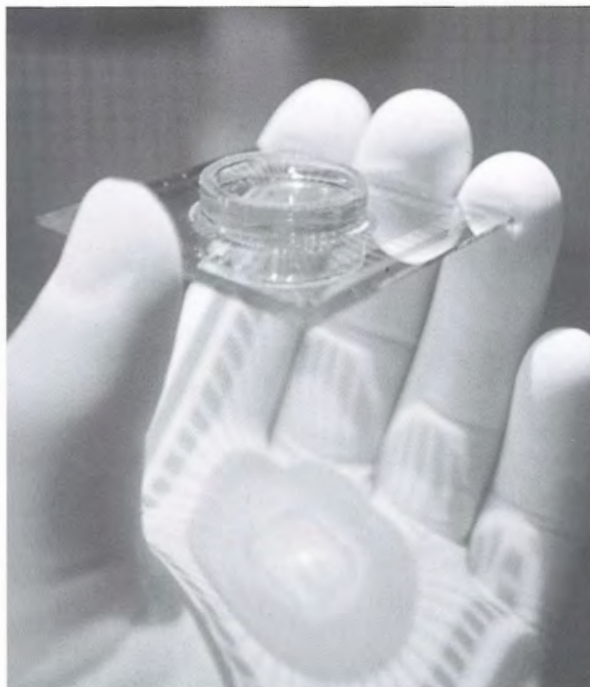
Also at a very experimental stage are genetic constructs for *probing* neural activity with light. In this case, DNA from jellyfish that produce fluorescent proteins is joined with DNA coding for the voltage-sensitive ion channels that neurons already have. Now, for a neuron transfected with this construct, when the channels sense neural activity, the color of the attached fluorescent protein changes slightly. These voltage-sensitive fluorescent proteins could be co-transfected with the optogenetic constructs described above, to allow implanted fiber optics not only to modulate neural activity, but also to read out ongoing activity or the responses to optical stimulation.

There are other, less invasive ways to read brain activity with light shone through the scalp, thanks to the way blood in active brain regions changes color as it becomes de-oxygenated. This near-infrared spectroscopy is presently very limited in both spatial and temporal resolution, but with improvements in optics and signal processing, it will become increasingly useful. As with electrodes that can both stimulate and record neural activity, two-way optical brain interfaces will enable closed-loop systems with continual fine-tuning of their effects to optimize function.

Группа "Symbiotica" и лаборатория Поттера. "MEART – Полуживой художник", в работе с 2000 г. Фрагмент: чашка Петри с мультиэлектродным массивом. Symbiotica Research Group and The Potter Lab, MEART – The Semi-Living Artist, ongoing since 2000. Multi-electrode array Petri dish. © 2001 Photo by Steve Potter.

ем, ведем себя и взаимодействуем друг с другом. Каким образом технологии мозгового интерфейса из средства клинической терапии превратятся в инструмент усиления когнитивной функции для всех? Среди тысяч сегодняшних пациентов, мозг которых подвергается электростимуляции с целью лечения различных дисфункций, есть такие, кто замечает некоторые позитивные побочные эффекты, связанные с когнитивным усилением. Поль Косинс, исследователь глубокой стимуляции мозга из Бельгии, приводит как анекдот слова одной из пациенток с имплантатом против обсессивно-компульсивного невроза: "Знаете, д-р Косинс, если я занимаюсь обычными домашними делами, то мне больше подходит "контакт два" (из четырех вживленных ей электрических контактов ГМС), но, когда я иду на вечеринку, где нужно *включаться*, – ну, там, общение – вы понимаете, – я предпочитаю "контакт четыре", он меня взбадривает, развязывает язык и добавляет креатива" [5]. Эта пациентка явно пользуется "незаявленными бонусами" своей ГМС, которые она обнаружила, манипулируя регуляторами.

Хирургия для ГМС отличается сложностью и связана с определенным риском травмы или инфекции, так что сегодня мало кто пойдет на подобную операцию только ради "взбадривания, развязывания языка и добавления креатива". Но посмотрите, как далеко шагнула за последние несколько лет рефракционная хирургия глаза – от тонкой и рискованной операции с долгим периодом реабилитации и не всегда хорошими результатами до амбулаторной процедуры, которая, благодаря успехам в области лазеров замкнутого цикла и робототехники, теперь проводится очень быстро, безопасно и чрезвычайно эффективно. Широкий выбор процедур элективной косметической хирургии, осуществляемых с минимальным или нулевым риском летального исхода или непоправимой травмы, есть еще один возможный индикатор направления, в котором движутся нейротехнологии. Мозговые интерфейсы с обратной связью – оптические, электрические или те и другие – неизбежно проследуют этим путем, охватывая более широкий круг проблем для большего числа пациентов при меньшем количестве осложнений. Чем больше мы слышим о лабораторных опытах или клинических испытаниях мозговых интерфейсов с эффектами когнитивного усиления, тем больше будет потребность использования последних в элективных процедурах для обычных людей. А когда предоставляется возможность заработать,



Changing Human Nature

We all know from personal experience that we are a "different person" after we have had our favorite psychoactive beverage, such as coffee, tea, or alcohol, for example. There is no doubt that pharmacology can be (and often is) used to change our level of happiness, our productivity, or our sociability. Some day, we may develop genetic engineering to cause more permanent changes in human nature. Much closer on the cognitive enhancement horizon are neuroengineering-based means to alter how we feel, behave, and interact. How will brain interfacing technology make the transition from clinical therapies to cognition-enhancing tools for all of us? Given the thousands of patients already having their brains electrically stimulated to treat various disorders, some are bound to notice some positive, cognition-enhancing side effects. Paul Cosyns, a deep-brain stimulation investigator in Belgium, relates this anecdote from one of the patients that was implanted to relieve her obsessive-compulsive disorder: "Well, Dr. Cosyns, when I'm at home doing my regular things, I'd prefer to have contact two (of the 4 electrical contacts on her DBS implant), but if I'm going out for a party where I have to be *on* and, you know, I'm going to do a lot of socializing, I'd prefer contact four because it makes me revved up and more

хирурги не мешают с открытием клиник нового профиля. Так что в недалеком будущем ждите появления рядом с вашим домом, где-нибудь между салонами косметической хирургии и лазерной коррекции зрения, торговых точек “Имплантаты мозга на заказ”.

Заключение

Существует множество технологий и методик изменения функций мозга, при этом некоторые пока относятся к разряду лабораторных диковин, другие имеют активное клиническое применение, но всем им еще предстоит пройти длинный путь, прежде чем они достигнут такого же уровня технического совершенства, как наши космические корабли. Куда придет с ними человечество, предсказать очень сложно, потому что, изменяя функции мозга, мы можем фундаментальным образом изменить человеческую природу. Эти технологии будоражат воображение, когда представляешь, как они из средства борьбы с болезнями и физическими недостатками превращаются в инструмент усиления возможностей человека. Это так же неизбежно, как полеты в космос, в осуществимости которых не сомневался Жюль Верн. Мы должны уже сейчас начинать готовиться к такому развитию событий и предвидеть те плюсы или потенциальные минусы, которые оно принесет человечеству. Поступая так, мы с большей вероятностью сможем создать будущее, в котором наш мозг позволит нам функционировать более эффективно и взаимодействовать друг с другом наиболее гармоничным образом, идя в ногу с современным миром.

Перевод с английского Евгения Волкова.

Ссылки см. в английской версии. (Прим. ред.)

Примечания:

* Неокортекс (от лат. *neocortex*) – новые области коры головного мозга, которые у низших млекопитающих только намечены, а у человека составляют основную часть коры. Неокортекс располагается в верхнем слое полушарий мозга, имеет толщину 2-4 миллиметра и отвечает за высшие нервные функции – сенсорное восприятие, выполнение моторных команд, осознанное мышление и у людей – речь. (Прим. ред.)

** Глиальные клетки, или *глия* (от греч. “*глия*” – клей) – сложный комплекс вспомогательных клеток нервной ткани, общий функциями и, частично, происхождением. Глиальные клетки составляют специфическое микроокружение для нейронов, обеспечивая условия для генерации и передачи нервных импульсов, а также осуществляя часть метаболических процессов самого нейрона. (Прим. ред.)

*** MEART – совместный проект коллектива нейробиологов под руководством Стива Поттера (США) и австралийской арт-лаборатории SymbioticA Университета Западной Австралии. MEART, с одной стороны, означает “самостоятельство”, с другой – являет собой аббревиатуру из MEA (*Multi-Electrode Array* – мультиэлектродная матрица) и ART (искусство). (Прим. ред.)

articulate and more creative.” [5] This patient is clearly using her DBS for the “off-label” benefits she has discovered by fiddling around with the controls.

The surgery for DBS is complicated and not without risk of injury or infection, so few today would elect to undergo this procedure just to feel more “revved up, articulate and creative”. But consider how far refractive eye surgery has advanced in the last few years, from a delicate, risky operation with long recovery and poor outcomes, to an outpatient procedure that, thanks to advances in closed-loop lasers and robotics, is very fast, safe and extremely effective. The wide variety of elective cosmetic surgery procedures carried out with few or no worries about death or permanent damage are another likely indicator of where neurotechnology is headed. It is inevitable that closed-loop brain interfaces, whether optical, electrical, or both, will follow this path, to help more disabilities in more people with fewer complications. The more we hear about lab experiments or clinical trials of brain interfaces with cognitive enhancing effects, the more demand there will be to turn these into elective procedures for normal people. When there is money to be made, surgeons are quick to open up new types of clinics. Expect “Brain Implants On Demand” shops in your neighborhood before too long, right between the Lasik and cosmetic surgery boutiques.

Conclusion

There are many technologies and techniques for altering brain function, some still laboratory curiosities, some being used actively in the clinic, but all with a long way to go before they are sophisticated in the way our interplanetary spacecraft are. Where they will take humanity is very hard to predict, because by altering brain function, we may fundamentally alter human nature. It is exciting to imagine these technologies making the transition from clinical treatments for diseased and disabled people, to enhancements for all of us. This is as inevitable as space travel was for Jules Verne. We must begin now to plan for it, and to anticipate the ways it will benefit, or potentially harm humanity. By doing so, we are more likely to create a future in which our brains allow us to function more effectively and interact more harmoniously, in step with the modern world.

References

- [1]. <http://neuro.gatech.edu>, accessed May 21, 2012.
- [2]. <http://www.fishandchips.uwa.edu.au/project.html>, accessed May 21, 2012.
- [3]. <http://www.scilearn.com/>, accessed May 21, 2012.
- [4]. For a detailed review of the state of the art in brain-enhancing technology, see: Serruya, M.D., Kahana, M.J. “Techniques and devices to restore cognition,” *Behavioural Brain Research* 192 (2008): pp.149-165;
- [5]. President’s Council on Bioethics, June 25, 2004. <http://bioethics.georgetown.edu/pcbe/transcripts/june04/session6.html>, accessed May 21, 2012.