Гравитационные механизмы в двигательной системе

/ сохраненные картинки презентации к лекции Козловской И.Б. /

Видео предоставлено кафедрой ВНД биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.
http://univertv.ru/video/biology/chelovek/gravitacionnye_mehanizmy_v_dvigatelnoj_sisteme/

Гравитация, существующая на Земле миллионы лет, внесла свой вклад в развитие всех живых организмов и внедрилась в их системы жизнедеятельности в качестве фактора, обеспечивающего их функционирование в гравитационном поле Земли. Космические полёты открыли возможности систематического изучения гравитационных механизмов и способствовали развитию наземных моделей невесомости, позволивших точно описать последствия устранения гравитации в различных системах организма. В лекции рассматриваются гравитационные механизмы в наиболее зависимой от гравитации двигательной системе.

Козловская И.Б. - член-корр. РАН, заведующая Отделом сенсомоторной физиологии и профилактики ИМБП РАН

ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Тяжесть – самое неизбежное и постоянное поле, от которого ни одно существо никогда на Земле не освобождается.

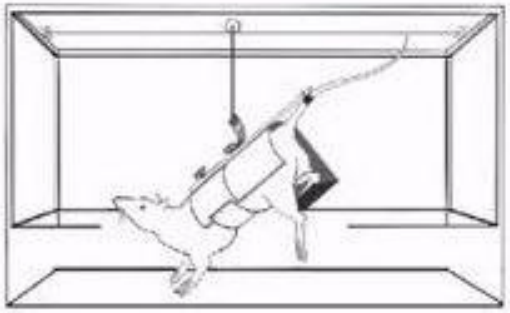
/А.А. Ухтомский/

ФАКТОРЫ, ОПОСРЕДУЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ УСТРАНЕНИЯ/СНИЖЕНИЯ ГРАВИТАЦИИ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

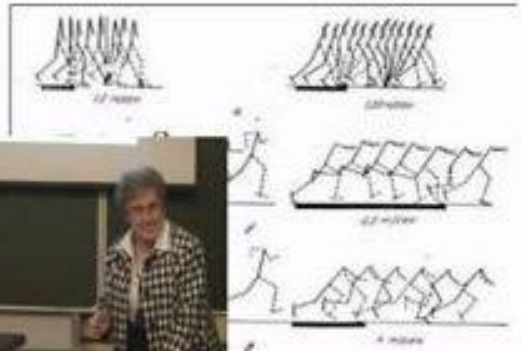
- Снижение механических нагрузок;
- Снижение осевой и опорной нагрузок;
- Изменение биомеханики движений;
- Изменения в деятельности сенсорных систем.

НАЗЕМНЫЕ МОДЕЛИ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Вывешивание



«Сухая» иммерсия



Антиортостатическая гипокинезия

ФАКТОРЫ, ОПОСРЕДУЮЩИЕ ДЕЙСТВИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА ДВИГАТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ

	Механическая нагрузка	Реакция опоры	Объем движений	Вестибулярная функция
Космический полет	Отсутствует	Отсутствует	Несколько снижен	Нарушена
Антиортостатическая гипокинезия	Снижена	Перераспределена со стоп на поверхность тела	Значитель-но снижен	Интактна
Сухая иммерсия	Снижена	Устранена	Значитель-но снижен	Интактна
Вывешивание	Снижена	Снижена или отсутствует	Сохранен	Интактна

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАВИТАЦИОННО-ЗАВИСИМЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Вид движений	*Поза*	*Локомоция*
Функция	Поддержание положения тела и его звеньев	Перемещение в пространстве
Вид активности	Ациклический Тоническое сокращение	Циклический Фазное сокращение
Эффекторы	Преимущественно разгибатели	Сгибатели и разгибатели
Мышечные волокна	Преимущественно тонические (тип 1)	Преимущественно фазические (тип 2)

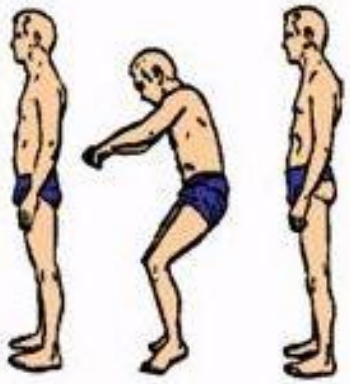
Мышечный тонус – длительное напряжение скелетных мышц, отличающееся малой утомляемостью и большой экономичностью

Мышечный тонус в управлении движением:

- обеспечивает исходное положение тела (звена), необходимое для осуществления любого целевого движения в гравитационном поле земли;
- определяет физиологические параметры мышц-эффекторов: начальную длину, механические свойства и другие - соответственно заданным параметрам движения;
- облегчает управление, устраняя (или ограничивая) лишние степени свободы.

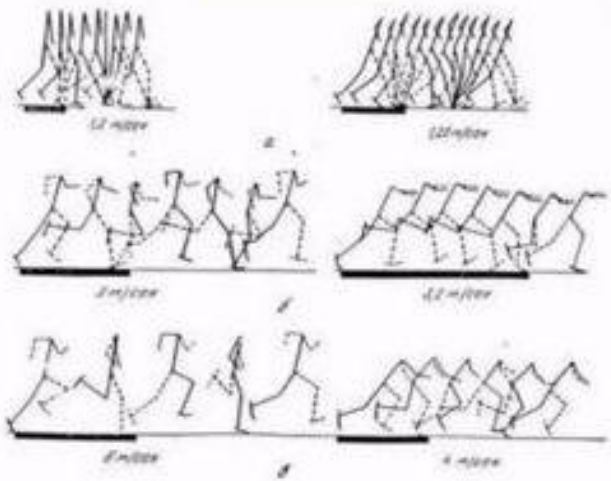
Флексорная позная установка при исключении опоры

Космический полет



До Во время После

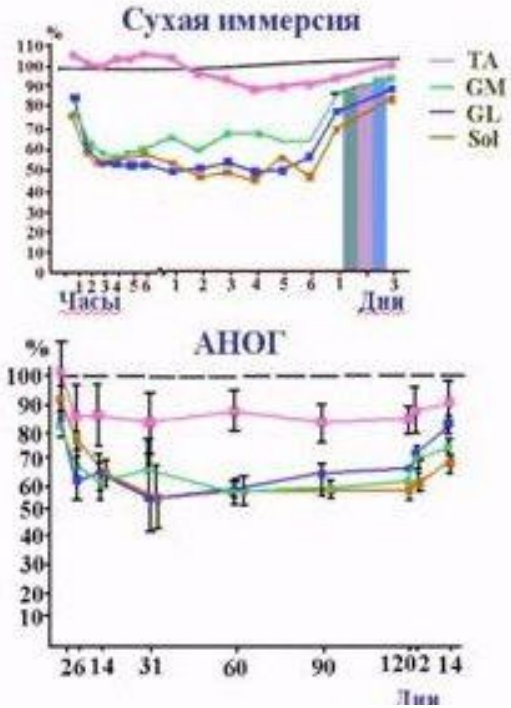
Вывешивание



1 G 1/6 G

(А.В. Богданов и др., 1969)

ИЗМЕНЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ В ИММЕРСИИ И АНОГ



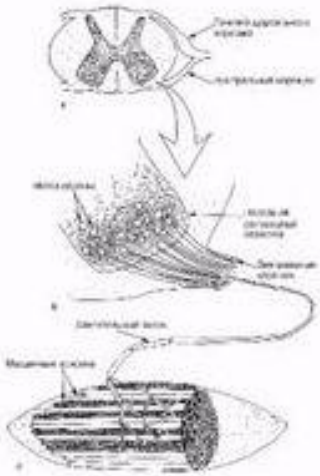
TA - m. tibialis anterior

GM - m. gastrocnemius medialis

Sol - m. soleus

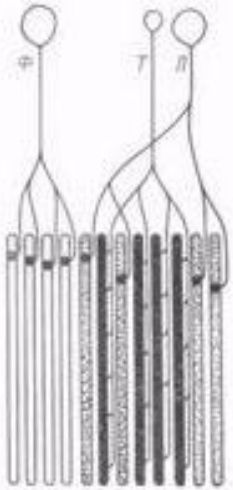
GL - m. gastrocnemius lateralis

АНАТОМИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ



(McComas, 1998)

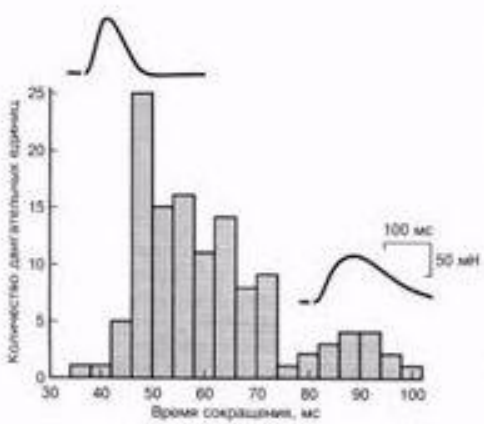
СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА

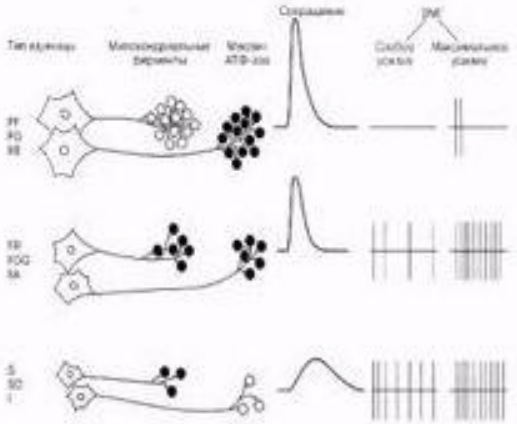


(Е.К.Жуков, 1969)

ВРЕМЯ СОКРАЩЕНИЯ 122 ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ КОРОТКОГО РАЗГИБАТЕЛЯ БОЛЬШОГО ПАЛЬЦА СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА

ГИСТОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРЕХ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

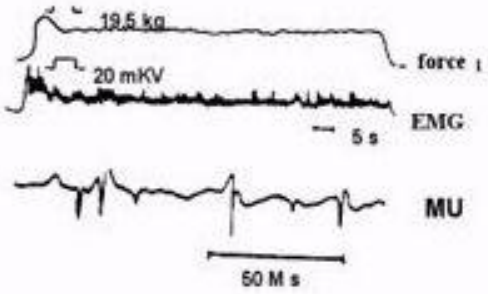




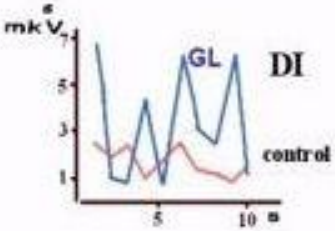
(Burke et al., 1973)

STUDIES OF MOTOR UNITS (MU) ACTIVITIES IN 7-DAYS DRY IMMERSION

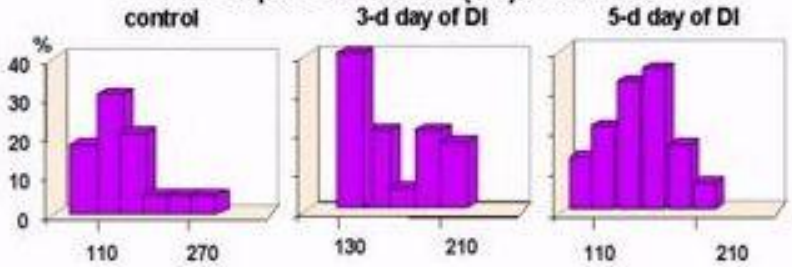
Parameters recording during the task perfomance



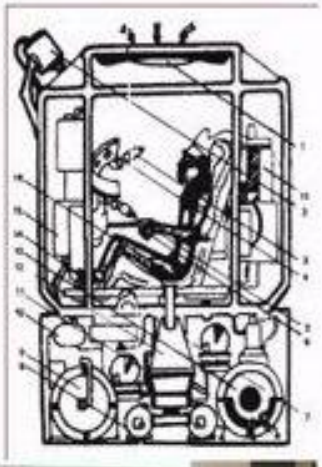
Accuracy of EMG-level maintaining

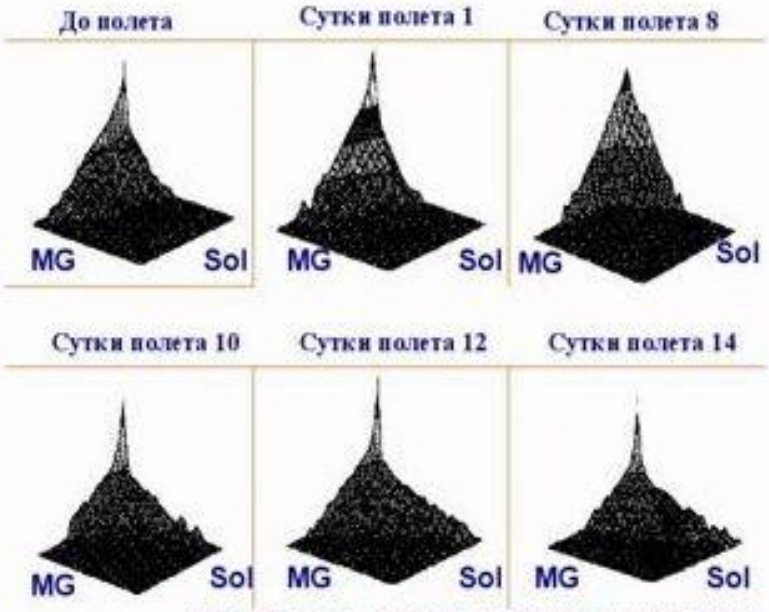


Interspikes intervals (ISI) durations



ИЗМЕНЕНИЯ ПОРЯДКА РЕКРУТИРОВАНИЯ *MM. GASTROCNEMIUS* И *SOLEUS* В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

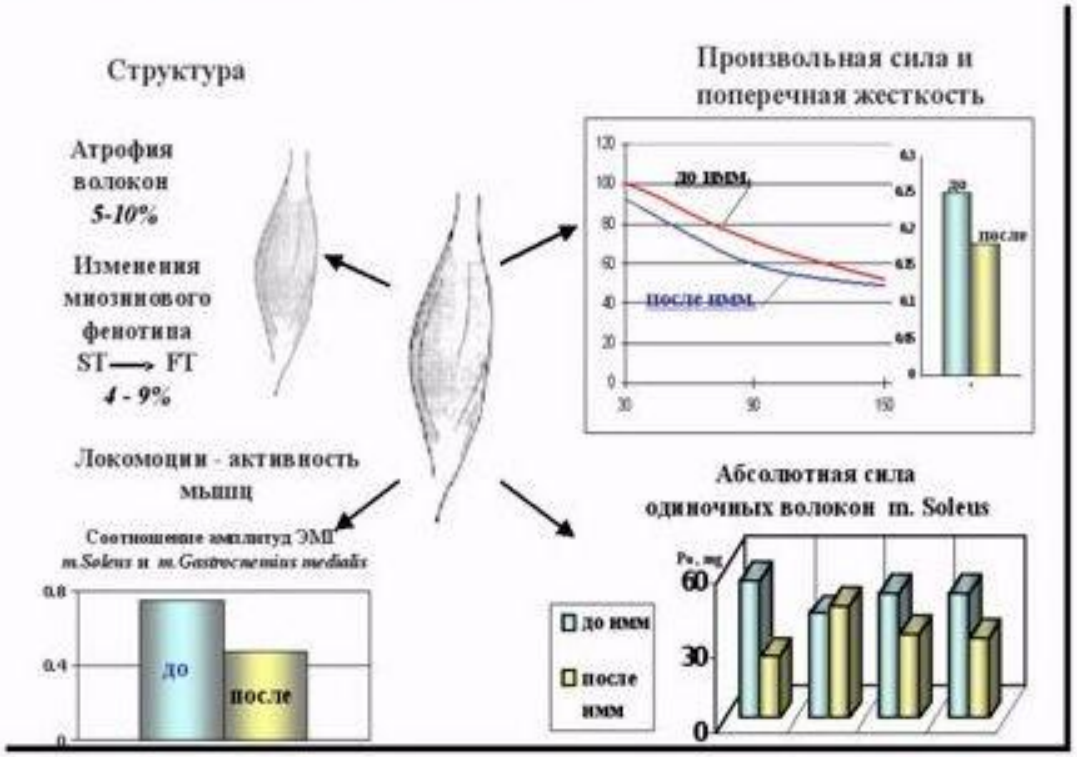




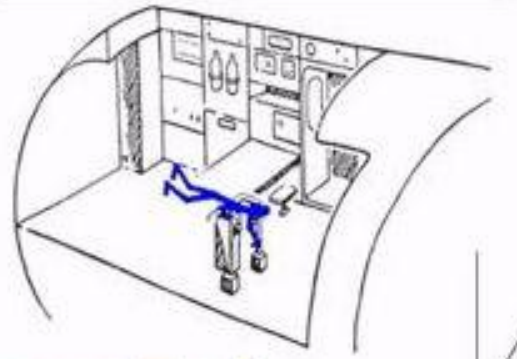
(R.V. Edgerton., J. Hodgson, S.N. Ryazansky, 2000)

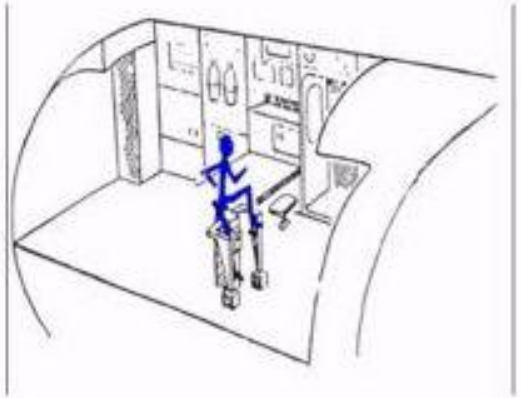
РОЛЬ ОПОРНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ В СИСТЕМЕ ПОЗНО-ТОНИЧЕСКИХ РЕГУЛЯЦИЙ

ЭФФЕКТЫ ИММЕРСИИ В ЭКСТЕНЗОРАХ ГОЛЕНИ

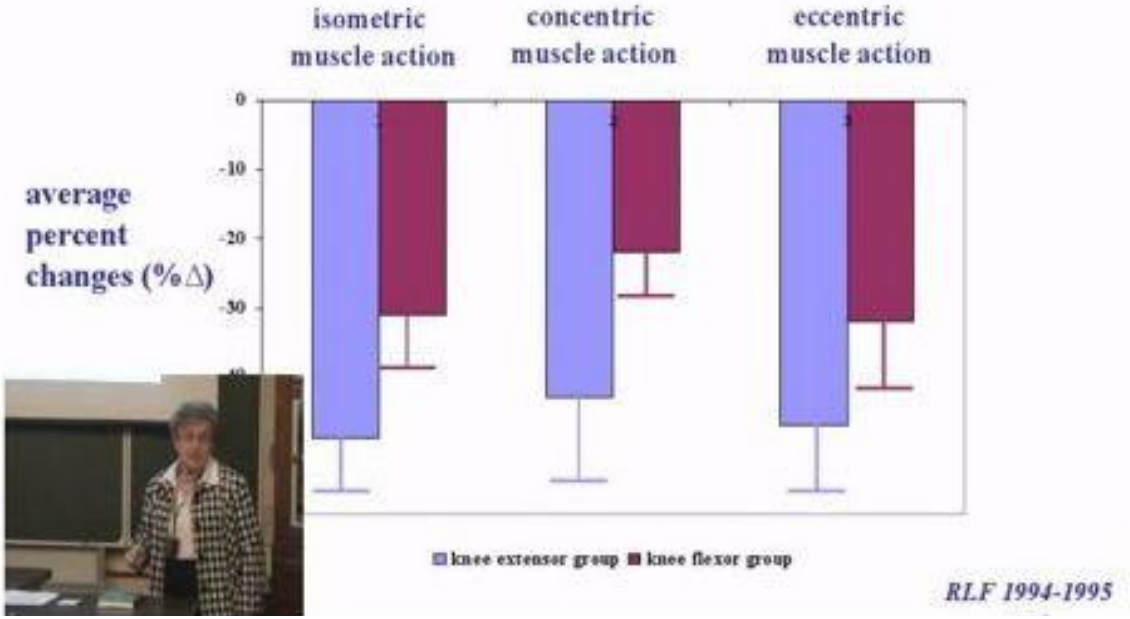


Положение космонавтов при работе на изокинетическом динамометре «Мотомир»





Reducrions in muscle strength of the lower extremities during in-flight testing following 3-4 weeks of real microgravity



RLF 1994-1995

РОЛЬ ОПОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ В ПОЗНО-ТОНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

СЕНСОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЗЕМЛИ

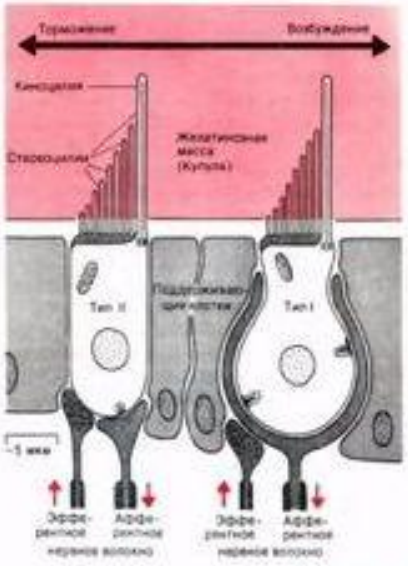
Управление – это согласование движения с чувствованием в достижении определенных целей

(Н.А. Бернштейн, 1947)

СХЕМЫ ВЕСТИБУЛЯРНОГО ЛАБИРИНТА (А) И РЕЦЕПТОРНЫХ КЛЕТОК ИЗ СЕНСОРНОГО ЭПИТЕЛИЯ ВЕСТИБУЛЯРНОГО ОРГАНА (Б)

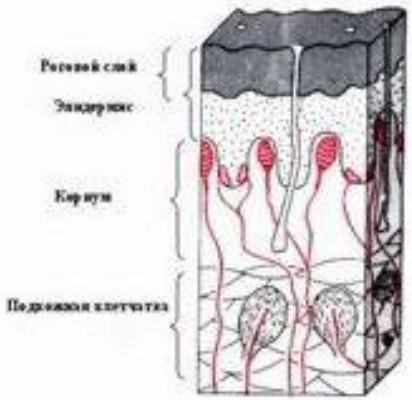
А

Б

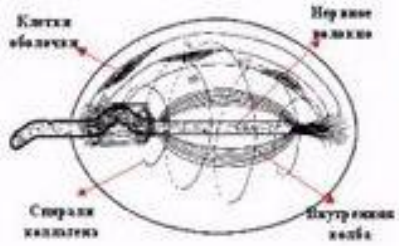


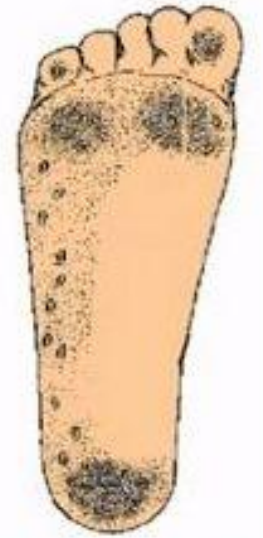
(Schmidt, 1983)

СХЕМА СТРУКТУРЫ ТЕЛЕЦ ФАТЕР-ПАЧИНИ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ В КОЖЕ И СТОПЕ ЧЕЛОВЕКА



Тельце Мейснера | Диски Меркеля | Тельце Пачини

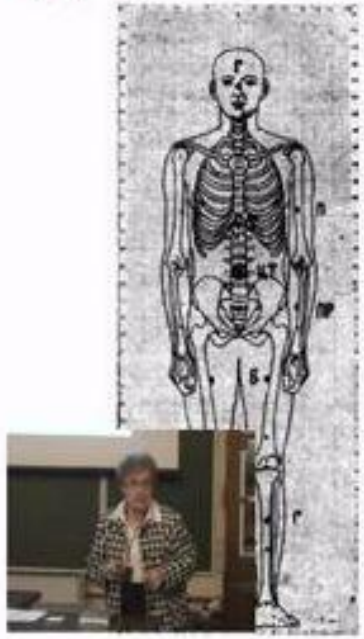




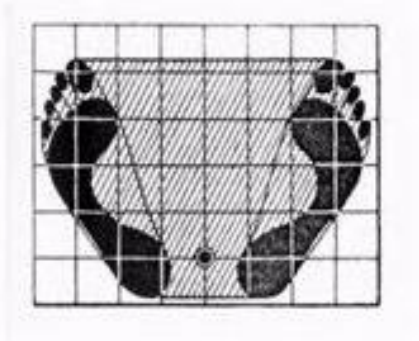
(А.А. Отелин и др., 1976)

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ (А) И ПЛОЩАДИ ОПОРЫ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА (Б)

А



Б



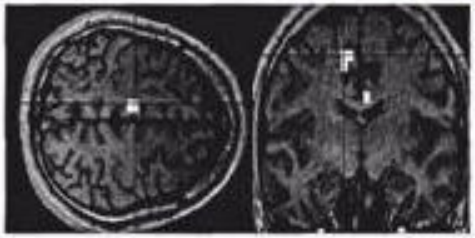
(Н.А. Бернштейн, 1947)

ОБЛАСТИ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА, ОТВЕЧАЮЩИЕ НА ОПОРНЫЕ РАЗДРАЖЕНИЯ

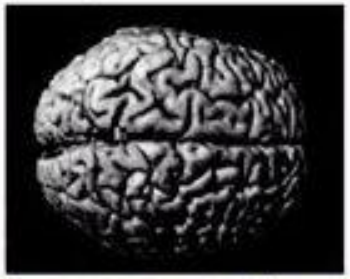
Произвольные нажатия стопой на опору

Двусторонние ответы
(somatosensory areas)

Вибростимуляция (50 Hz, 0,05 N)



Двусторонние ответы
(medial supplimental areas)



Контрлатеральный ответ
(поле SM-1)

(Stefan M. Golaszewski, et. al., 2003)

УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА В НЕВЕСОМОСТИ

Управление осуществляется не сырыми рецепторными сигналами, а комплексами, строящимися на интеграции

Специфические черты афферентного контроля движений в условиях микрогравитации

- Дефицит и искажение специфической информации, необходимой для построения программ движений;

- Дефицит и искажение специфической информации, обеспечивающей контроль исполнения программ движений (feedback, feed forward);

- Дефицит неспецифической информации, обеспечивающей активацию специфических и неспецифических моторных механизмов

Нейрофизиологические феномены при снижении гравитационных нагрузок

Феномен	Проявления	Действующие факторы
Болезнь движения	Иллюзии, нарушения ориентации, нарушение схемы тела, вегетативная симптоматика (тошнота, рвота)	Нарушения активности основных сенсорных входов и сенсорного взаимодействия (отолиты, опора, проприоцепция, зрение)
Гипогравитационная атаксия	Нарушение метрики всех типов точностных движений: произвольных, локомоторных, позных; атония, подавление тонических синергий, гиперрефлексия, нарушение ориентации	Устранение опоры, снижение проприцептивной активности
Мышечный гипогравита-ционный синдром	Снижение скоростно-силовых свойств мышц-экстензоров, снижение выносливости; атония, атрофия, флексорная установка	Устранение гравитации, устранение опоры, изменение биомеханики движений, снижение физических нагрузок

ГИПОГРАВИТАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬНЫЙ СИНДРОМ

Сенсорные входы

- снижение уровня опорной афферентации
- суппресия проприоцептивной активности
- изменения функции вестибулярного аппарата

Мышцы

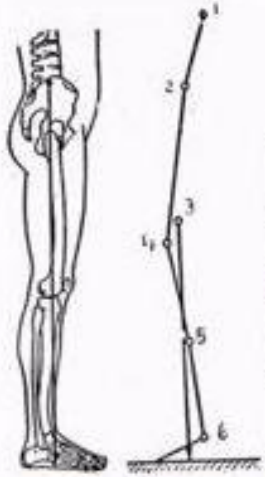
- снижение скоростно-силовых свойств
- атония
- атрофия и миофибриллярная перестройка
- изменение композиции мышечных волокон

Моторный контроль

- спинальная гиперрефлексия
- подавление активности тонических мотонейронов
- изменение порядка рекрутирования мотонейронов
- сенсорная и моторная атаксия

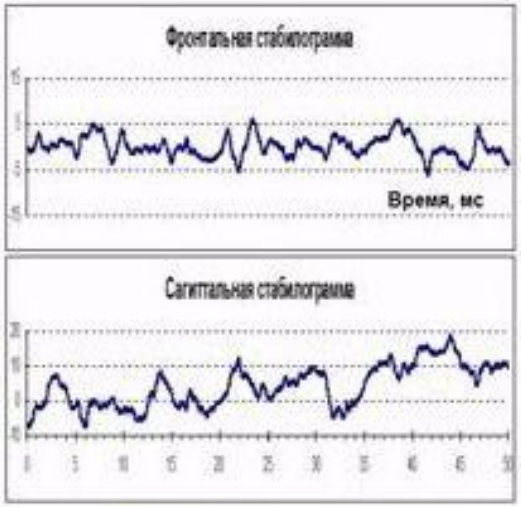
(И.Б. Козловская, 1983 г.)

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТОЙКА ЧЕЛОВЕКА

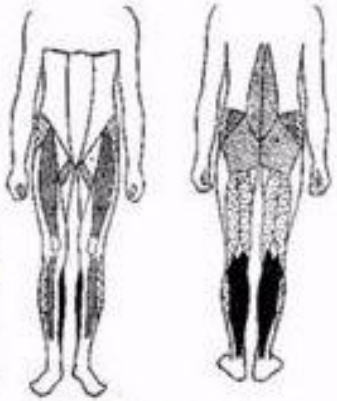


Биомеханическая схема стойки (1 – 6 углы в суставах)

(В.С. Гурфинкель и др., 1965)



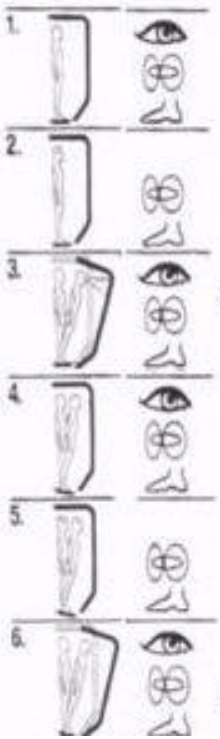
Пример стабилограммы при спокойной стойке



Распределение мышечной активности при спокойной стойке (от светлого к темному – увеличение уровня ЭМГ активности)

(В.С. Гурфинкель

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЗЫ



Стабильная опора
Глаза открыты

Стабильная опора
Глаза закрыты

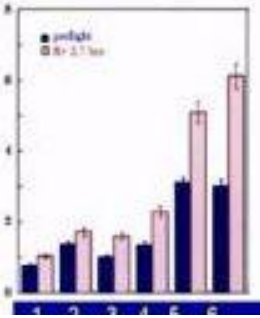
Стабильная опора
Ложная зрительная информация

Ложная опорная информация
Глаза открыты

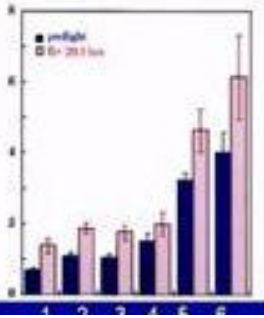
Ложная опорная информация
Глаза закрыты

Ложная опорная информация
Ложная зрительная информация

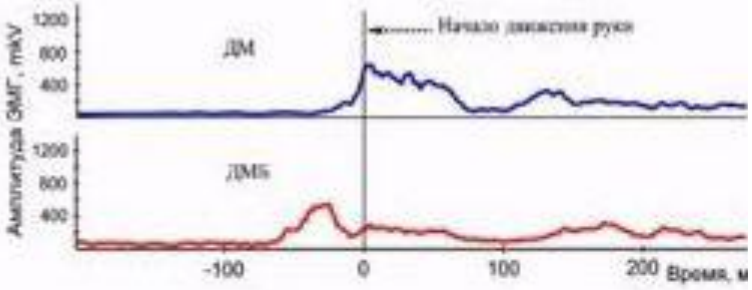
Полет 7 суток

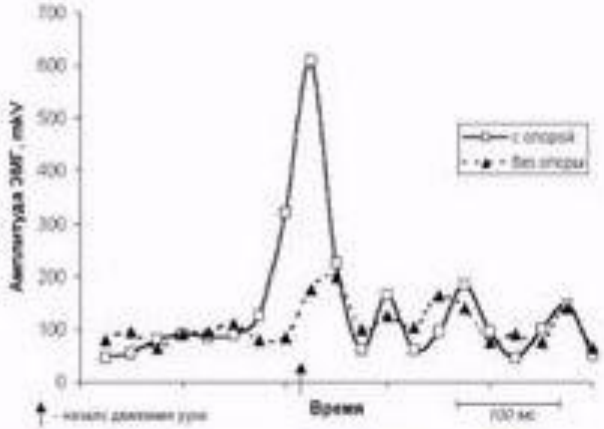


Полет 5 месяцев



ЭКСПЕРИМЕНТ «ПРЕДВАРЯЮЩАЯ ПОЗА»



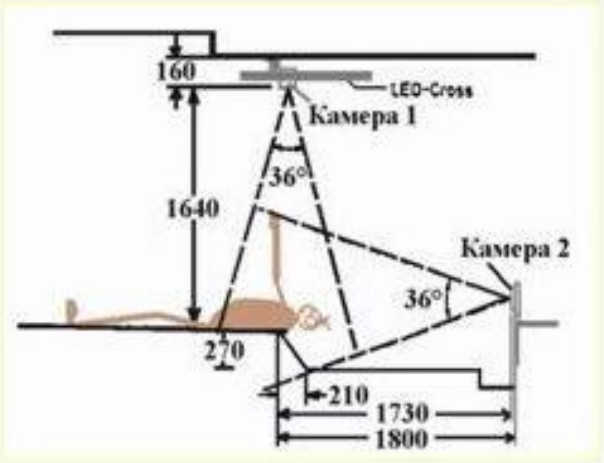


[Ch. Layne, I.B. Kozlovskaya et al., 1999-2002

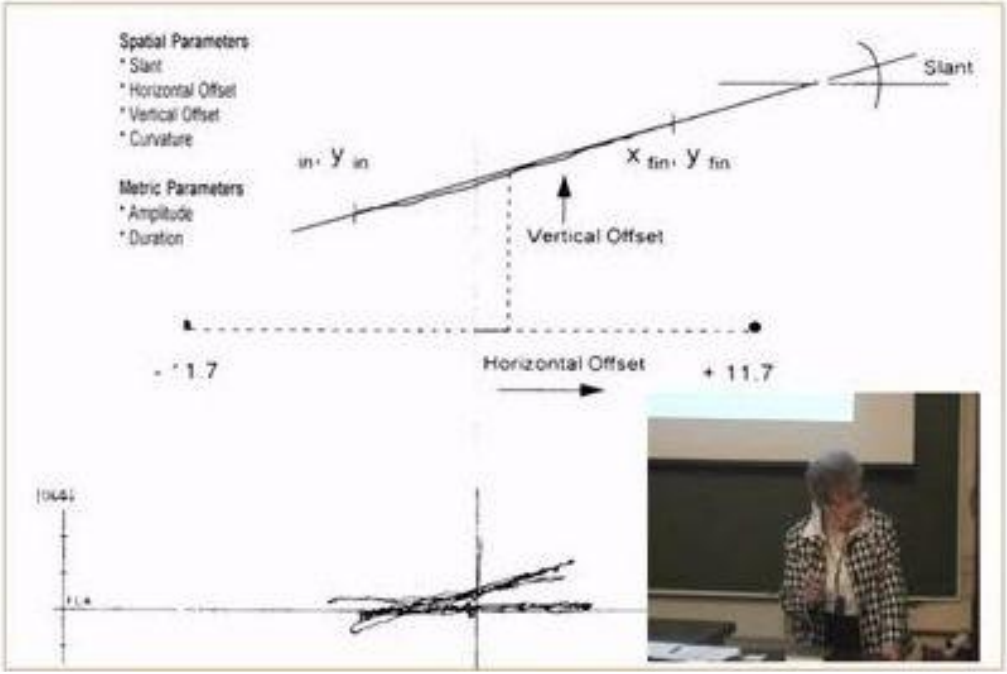
МОНИМИР

ТЕСТЫ

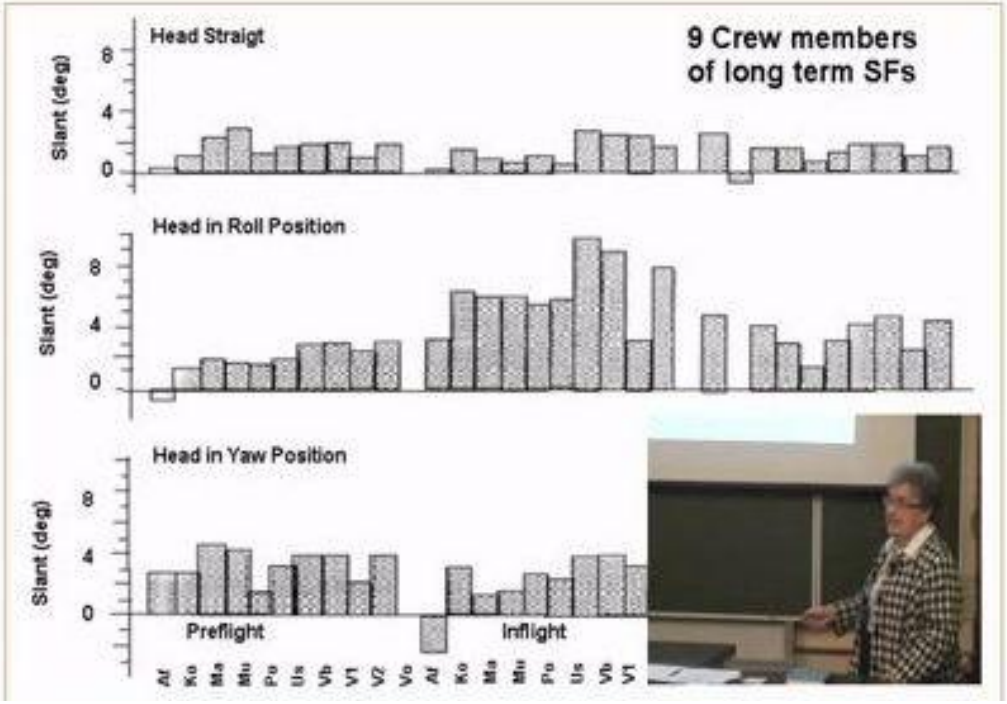
- **Контроль точности (глаза, голова, рука).**
- **Моторная память.**
- **Пространственные характеристики.**
- **Управления движениями.**
- **Шейный рефлекс.**



SPATIAL AND METRIC PARAMETERS OF THE HORIZONTAL POINTING IN SF



SLANT OF THE HORIZONTAL MOVEMENTS PLANE PRE -, IN AND POSTFLIGHT.



КОНТРОЛЬ УСИЛИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

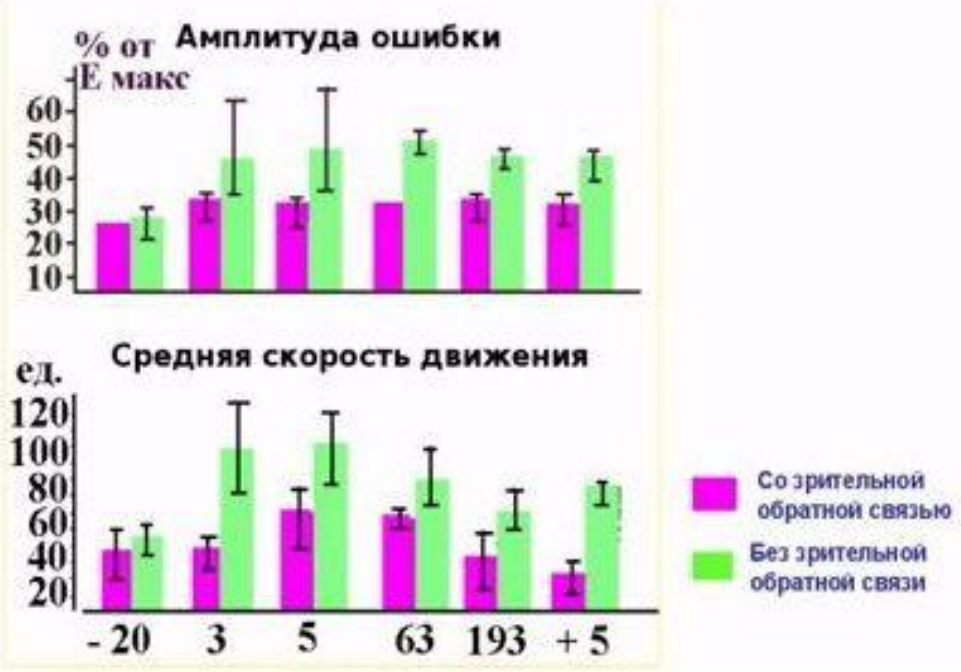
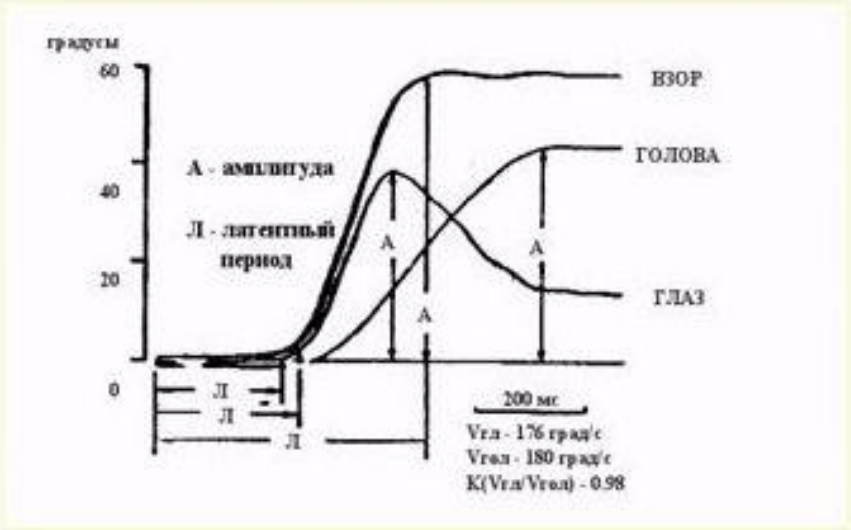
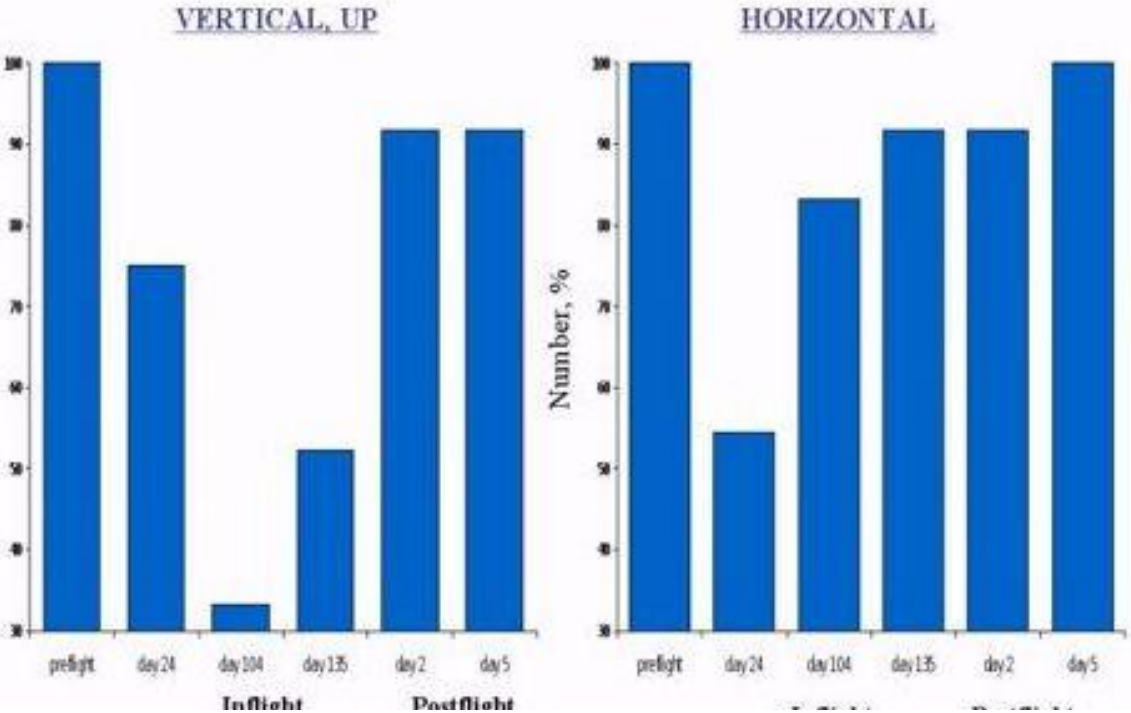


ДИАГРАММА И ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИИ УСТАНОВКИ ВЗОРА НА МИШЕНЬ В 60 УГЛОВЫХ ГРАДУСОВ

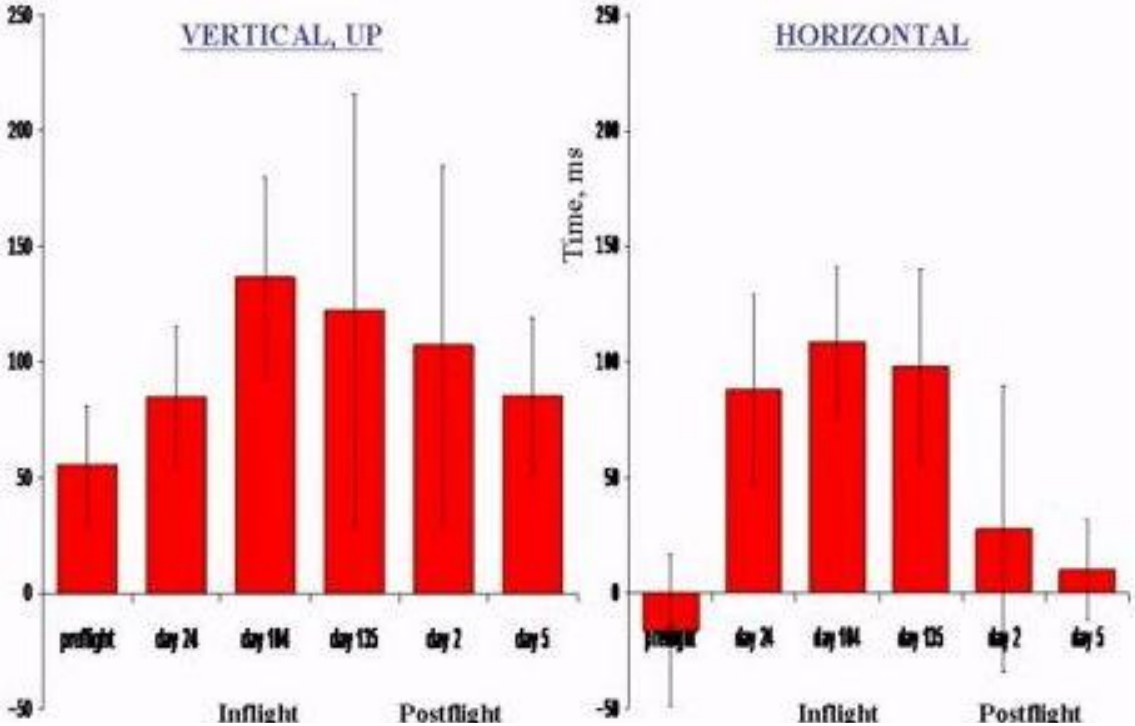


Eye-head coordination

NUMBER OF REACTIONS ACCOMPLISHED IN 1200 MS



EYE-HEAD COORDINATION
HEAD MOVEMENTS' DELAY



КОМПЕНСАТОР ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ (КОР)

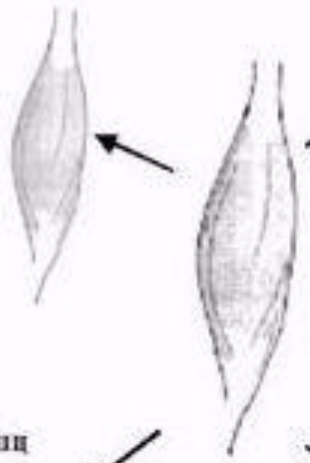
1 - ботинки;
2 - пневматические стельки;
3 - компрессор и блок управления;
4 - соединительные шланги.

УСТРАНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ИММЕРСИИ В ЭКСТЕНЗОРАХ ГОЛЕНИ СТИМУЛЯЦИЕЙ ОПОРНЫХ ЗОН СТОПЫ

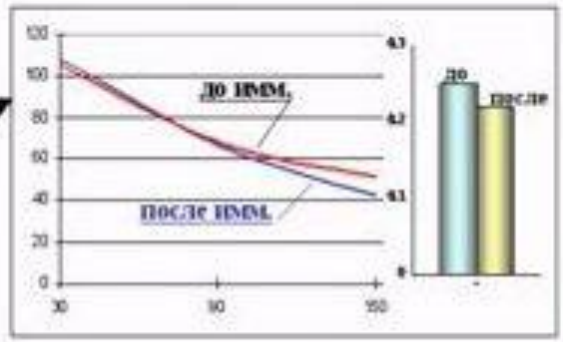
Структура

Атрофия
незначительная

Изменения миозинового фенотипа
отсутствуют

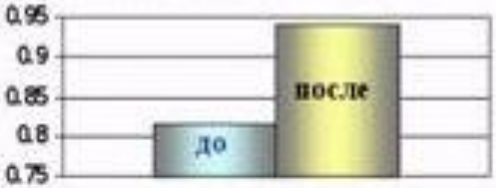
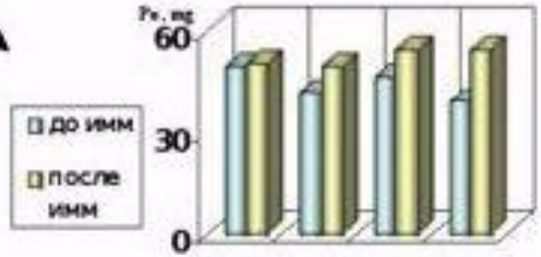


Произвольная сила и поперечная жесткость



Локомоции-
активность мышц

Соотношение амплитуд ЭМГ
m.Soleus и *m.Gastrocnemius medialis*



Абсолютная сила
одиночных волокон m. Soleus