



КриоТехноМед
Сила холода

Черепно-мозговая травма в хоккее

Методика краниocereбральной гипотермии





Спортивная черепно-мозговая травма в хоккее

- 4-е место после бокса, регби и сноуборда по уровню травматизма:
 - 3,7 травм на 1000 часов спортивных занятий (учтены травмы, требующие реабилитации).
 - сотрясения мозга - 1,6% от всех травм.

- 16,9% случаев причина травмы - усталость.

- Причины ЧМТ - столкновения, падения, неконтролируемое скольжение на высокой скорости и удары головой.

- При ЧМТ наблюдается когнитивный дефицит, сохраняющийся до 6 дней.

- Сотрясения мозга происходят у 7% игроков в течение одного сезона.



«Существующие принципы терапии - не отличаются от терапии бытовой травмы»

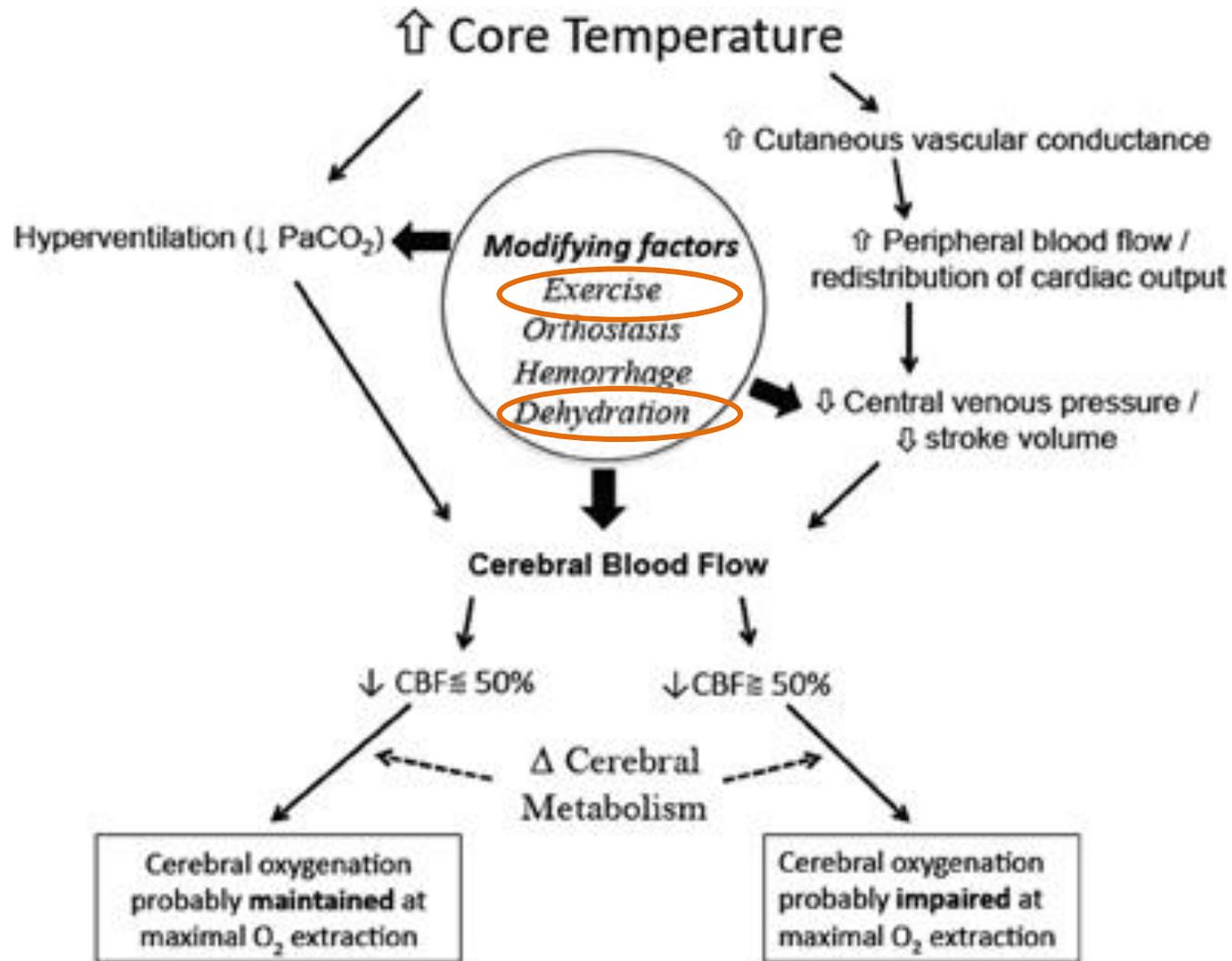


Специфика спортивной черепно-мозговой травмы

- Спортивная ЧМТ происходит всегда при повышенной температуре тела.
- Повышение температуры тела усугубляет тяжесть течения и последствий ЧМТ, повышение АД и МОК способствует повышению ВЧД, расширению объема вторичных повреждений нейронов.
- Для спортивных ЧМТ характерен кумулятивный эффект, суммация последствий частых травм разной степени тяжести (синдром повторных повреждений).
- Накопление эффектов последствий повторных ЧМТ приводит к функциональным расстройствам и структурным поражениям мозга – травматическая энцефалопатия.
- Антиагравация - скрытие симптоматики в целях продолжения соревнований и тренировок.
- Нет стратегии терапии и ранней реабилитации спортивных ЧМТ с учетом её специфики.



Мозговой кровотока и оксигенация

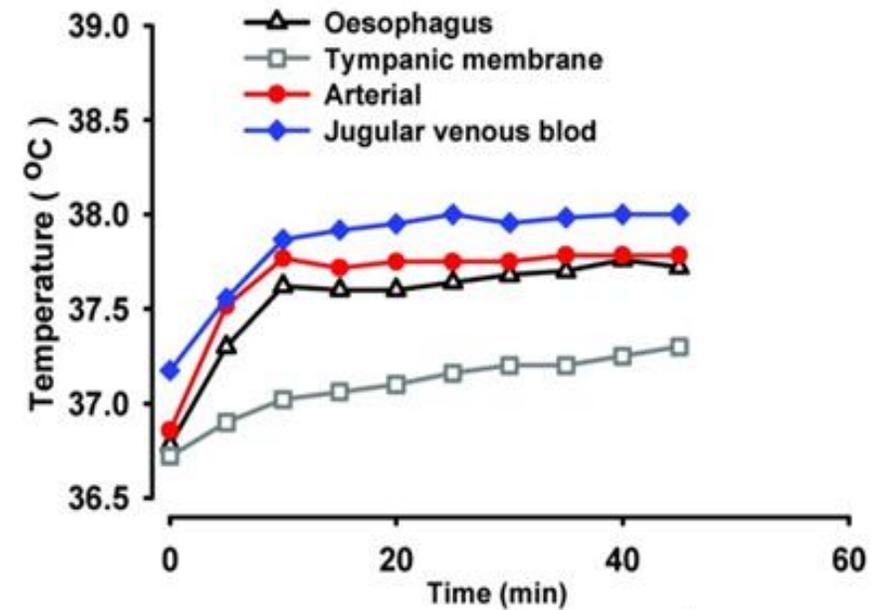


- Физические нагрузки и гиповолемия приводят к гипокании за счет гипервентиляции.
- Уменьшение PCO₂ обуславливает снижение мозгового кровотока.
- Повышение температуры тела приводит к росту температуры мозга.
- Периферическое перераспределение кровотока формирует синдром «обкрадывания» головного мозга.



Причины развития церебральной гипертермии

- 20% всей теплоты организма вырабатывается в головном мозге (масса мозга < 2%)
- 20-25% МОК, O₂, глюкозы обеспечивают церебральный метаболизм в покое.
- Теплота накапливается в мозге при физических нагрузках, эмоциональном возбуждении, лихорадке, аффекте, гипоксически-ишемических состояниях, нейротравме.
- Повышение температуры (> 38-39,5°C) приводит к развитию ментальных, волевых, неврологических расстройств.





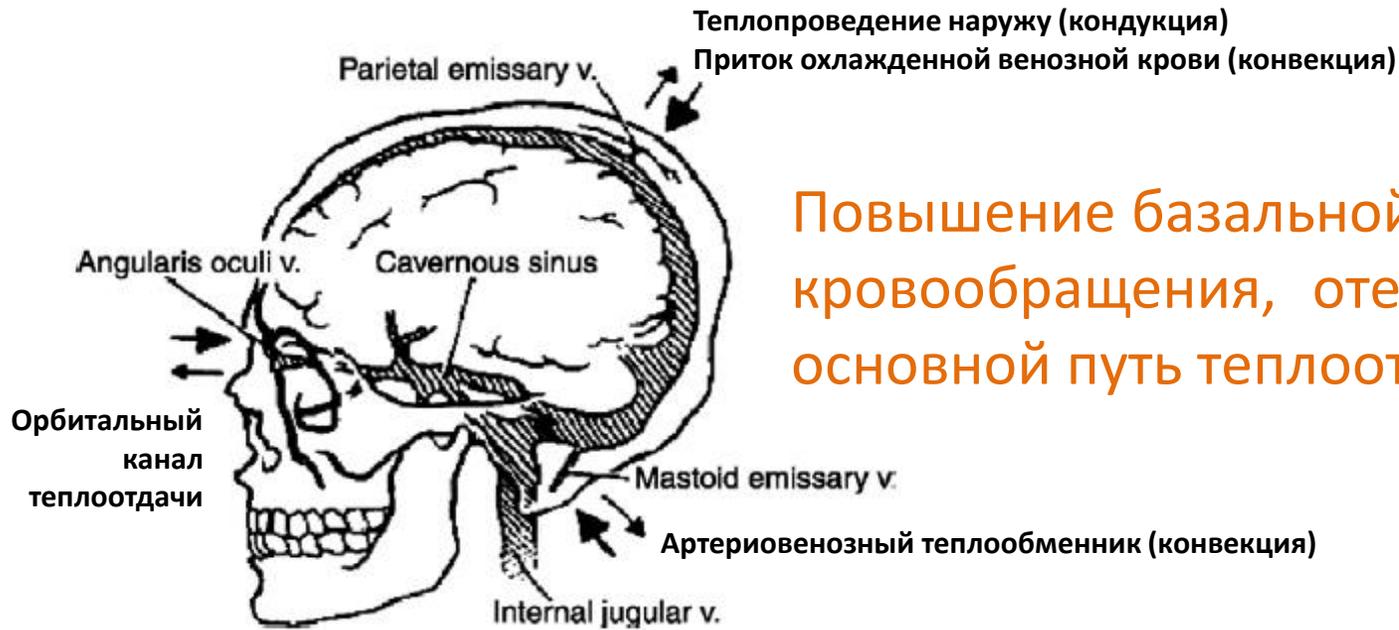
Причины центральных механизмов утомления

- Снижение церебрального кровотока при физических нагрузках
- Уменьшение церебральной оксигенации
- Гипертермия нейронов коры головного мозга
- Повышение внутричерепного давления





Тепловой баланс головного мозга



Повышение базальной температуры, нарушения мозгового кровообращения, отек мозга и повышение ВЧД блокируют основной путь теплоотведения

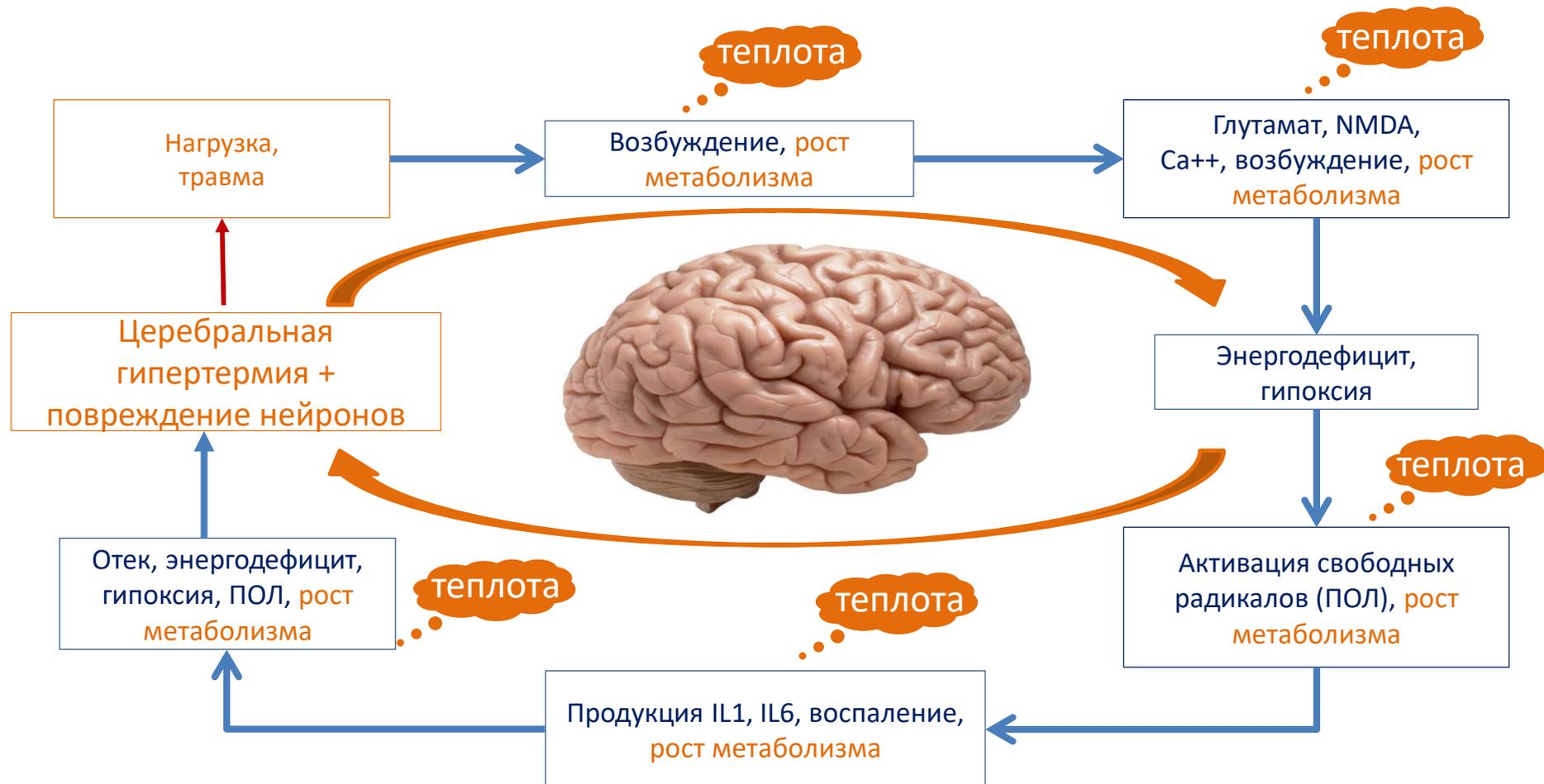
White M D et al. J Appl Physiol 2011;110:569-571

- Теплоотдача - уязвимый механизм поддержания теплового баланса мозга.
- Эффективность деятельности мозга зависит от его температуры.
- Температура головного мозга может повышаться не только в связи с изменениями базальной температуры.



Церебральная гипертермия

Способствует нарушениям функции и повреждениям нейронов:





Церебральная гипертермия

« $>39^{\circ}\text{C}$ - Утомление, нарушения координации, эмоционально-волевые расстройства, когнитивные нарушения, прямое повреждение нейронов»



Эффекты гипотермии

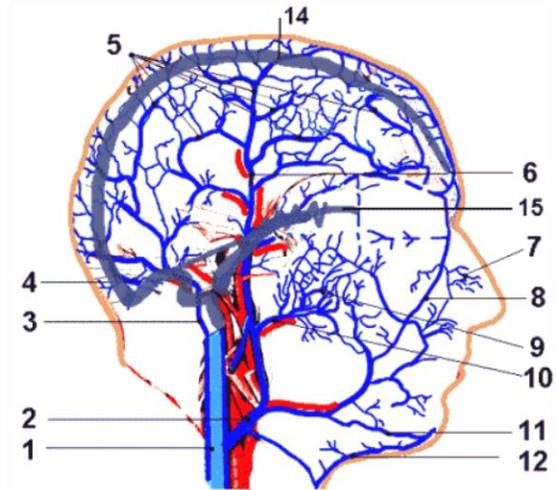
- Подавление эксайтотоксичности и граничение развития воспаления.
- Уменьшение отека мозга и снижение ВЧД.
- Сохранение ГЭБ.
- Коррекция гипертермии и снижение метаболизма нейронов.
- Уменьшение потребности в O₂.
- Улучшение аксонального транспорта и пиальной микроциркуляции.
- Устранение сосудистой дисфункции.
- Уменьшение летальности при ЧМТ и ОНМК (n=638) на 28-35%, восстановление неврологического статуса на 35%.
- Улучшение функционального исхода на 50%.



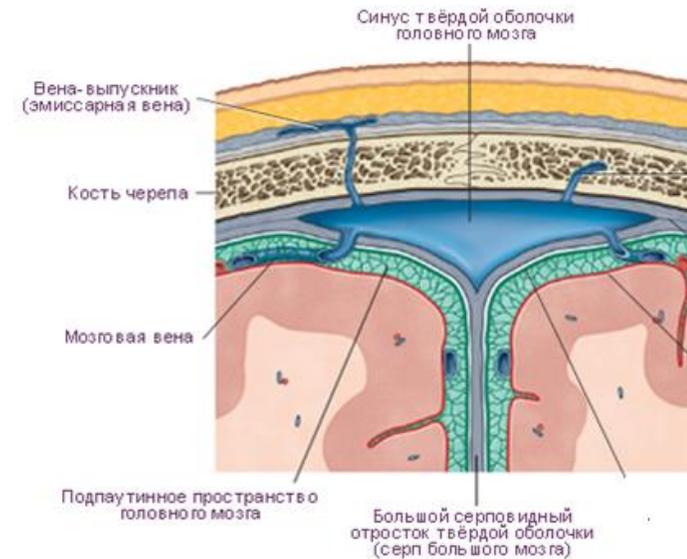


Механизмы КЦГ

1. Противоточный яремно-каротидный теплообмен (притекающая теплая артериальная и оттекающая холодная венозная кровь).
2. Охлажденная во внешней среде кровь сосудов кожи головы попадает через эмиссарные вены в венозные синусы твердой мозговой оболочки к поверхности мозга.
3. Теплопроводение от поверхности мозга наружу через кости черепа и мягкие ткани головы (ΔT кожа головы/поверхность мозга).



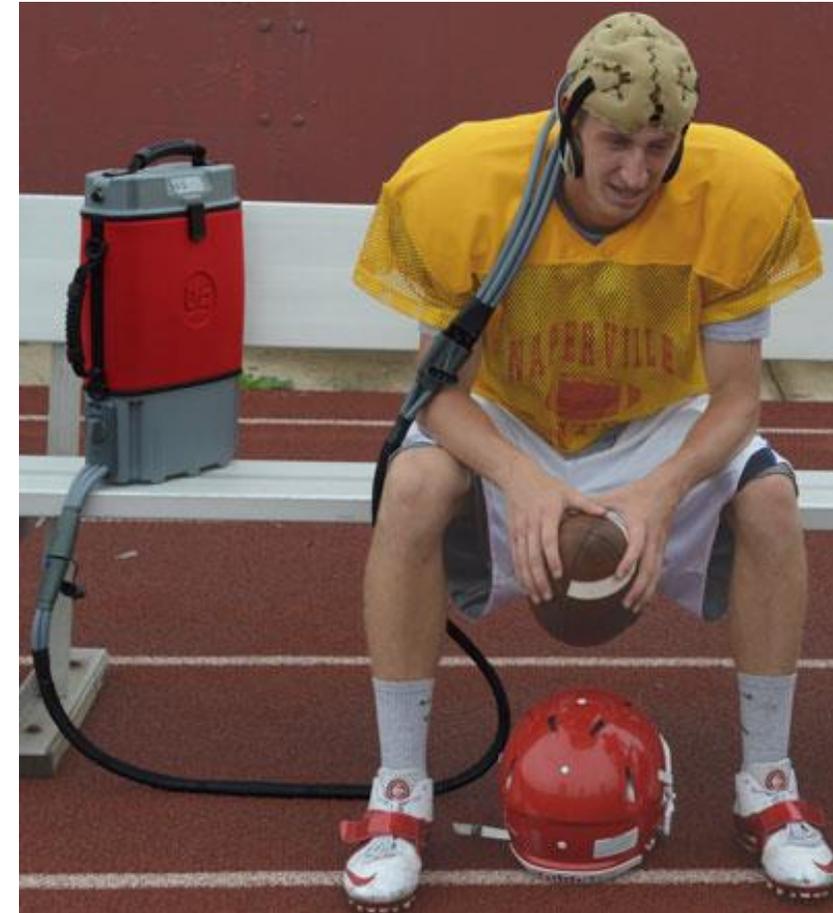
Наружные ветви яремной вены и венозные синусы твердой оболочки





Применение гипотермии в спорте

- Для профилактики последствий ЧМТ в американском футболе применяют систему «**Welkins**».
- Охлаждение головы способно повысить аэробную производительность спортсменов



Система охлаждения головы «Welkins» (США)



Регистрация церебральной температуры

- Косвенная оценка по базальной температуре - **малоинформативна**.
- Прямая регистрация - **применима только в нейрохирургии**.
- Регистрация ЭМИ: (ИК и СВЧ).

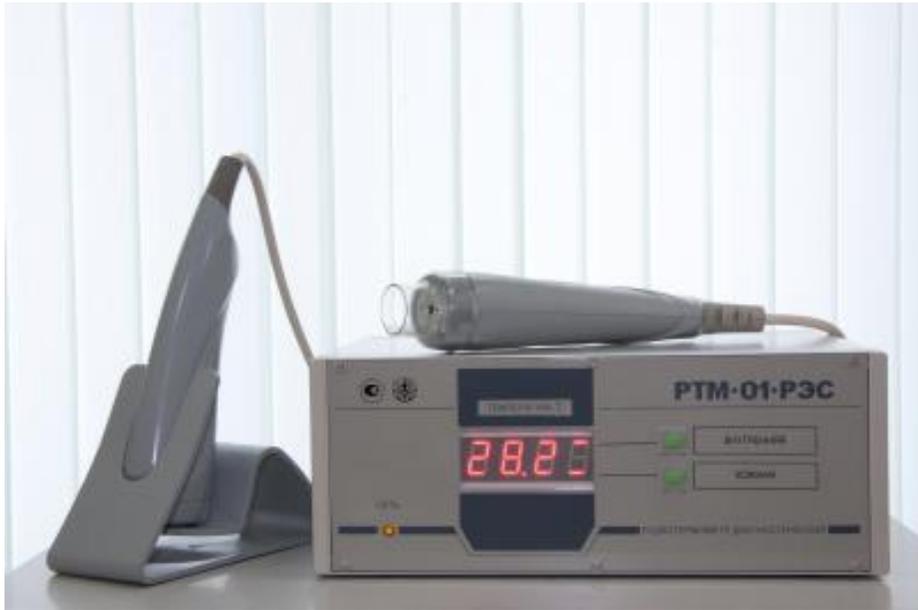
В инфракрасном диапазоне (0,3-10 мкм, 10^{14} Гц) – **поверхность кожи**.

В СВЧ диапазоне (3-60 см, 10^9 - 10^{10} Гц) – на глубине 2 – 8 см (термограф Brucker, ФРГ, радиотермограф РТМ-01-РЭС, РФ) - **наиболее адекватна**.

- Магнитно-резонансная термометрия (протонная ЯМР-спектроскопия) - **дорого, занимает много времени**.



СВЧ-радиотермометрия головного мозга



СВЧ-радиотермометр РТМ-01-РЭС,
3,6-4,7 ГГц, глубина локации ЭМИ 6-8 см, Д 3,2 см

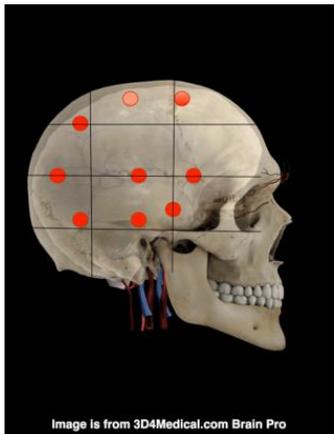
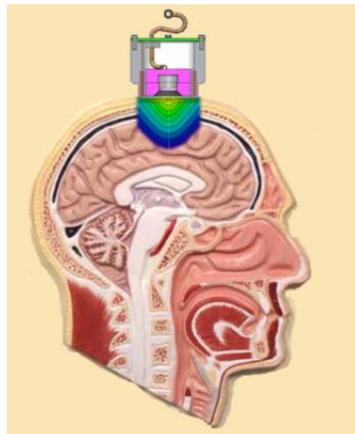


Image is from 3D4Medical.com Brain Pro



Процедура термометрии головного мозга

Области регистрации ЭМИ



Краниocereбральная гипотермия



АТГ-01



Шлем крио-аппликатор

- Производительность по холоду 450 Вт
- Энергопотребление 520 Вт
- Температура хладоносителя минус 5°C
- Поддерживаемая температура кожи головы 3-4°
- Автоматизированное управление
- 2 канала охлаждения



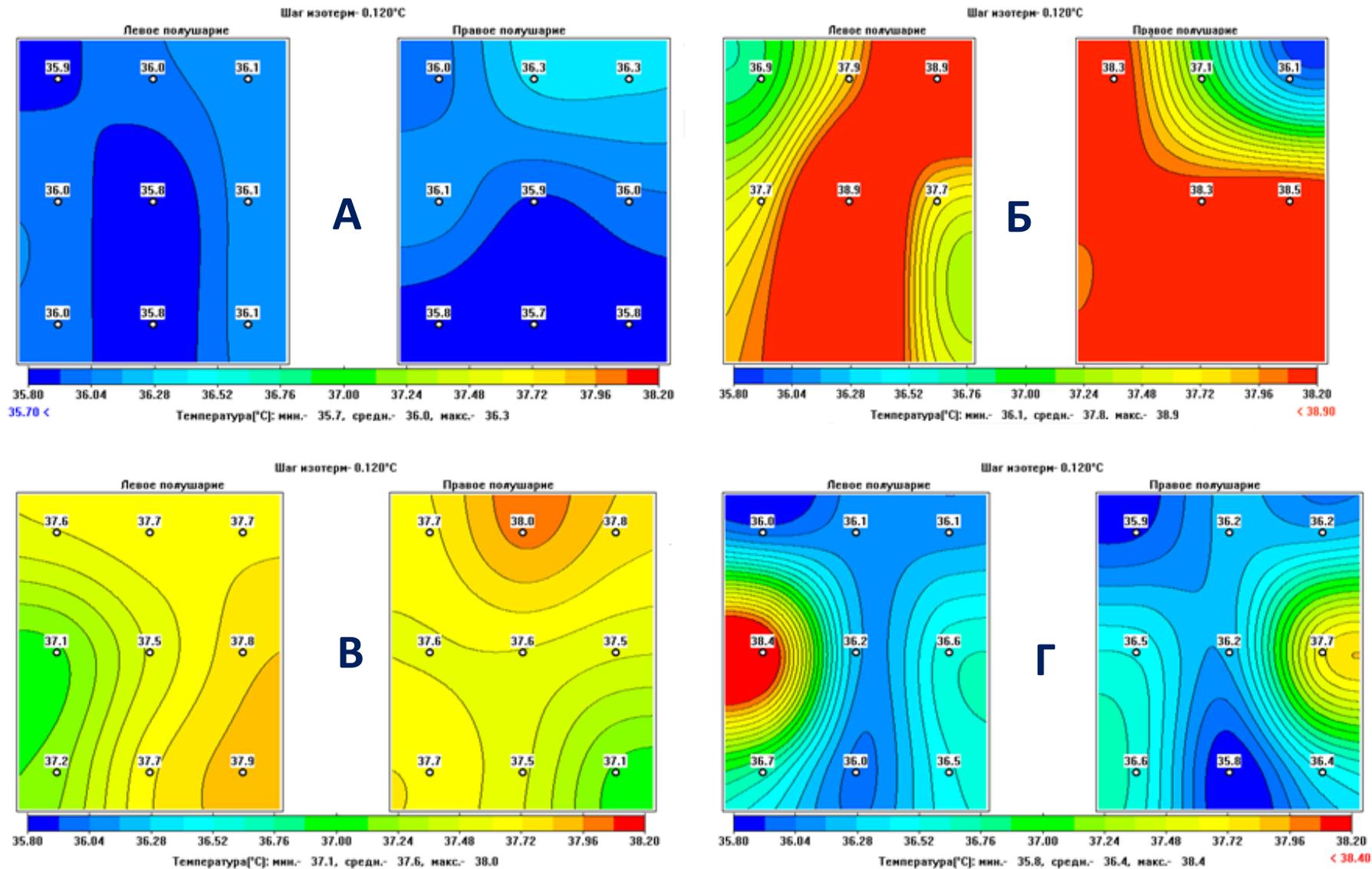
Исследование работоспособности



Процедура индукции гипотермии и методика проведения теста PWC-170 с газоанализатором “Cortex”.



Температура коры больших полушарий мозга*



* Здорового (А)

Больных ишемическим инсультом (Б, В, Г)

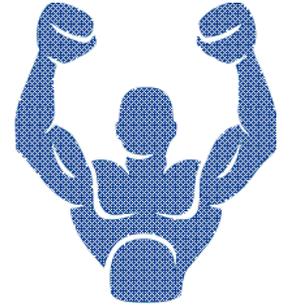


Материал исследований

- **Группа 1. Секция бокса ГБОУ ВПО Горный Университет**

32 спортсмена со стажем занятий боксом 3-7 лет

Исследования проводили до тренировки, после тренировки, после спарринга, после краниоцеребрального охлаждения.



- **Группа 2. Студенты ГЦОЛИФК**

15 спортсменов циклических видов спорта (лыжные гонки, триатлон, велоспорт, бег) со стажем занятий спортом 9-15 лет.

Исследования проводили до нагрузки, после нагрузки, после краниоцеребрального охлаждения.



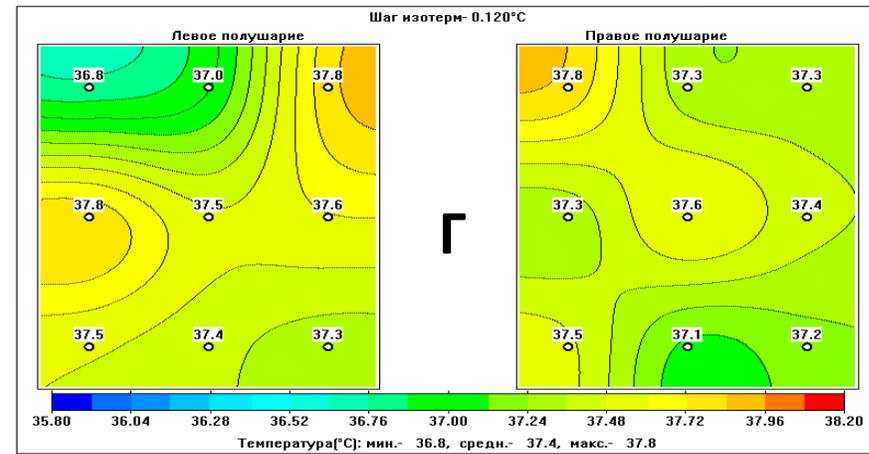
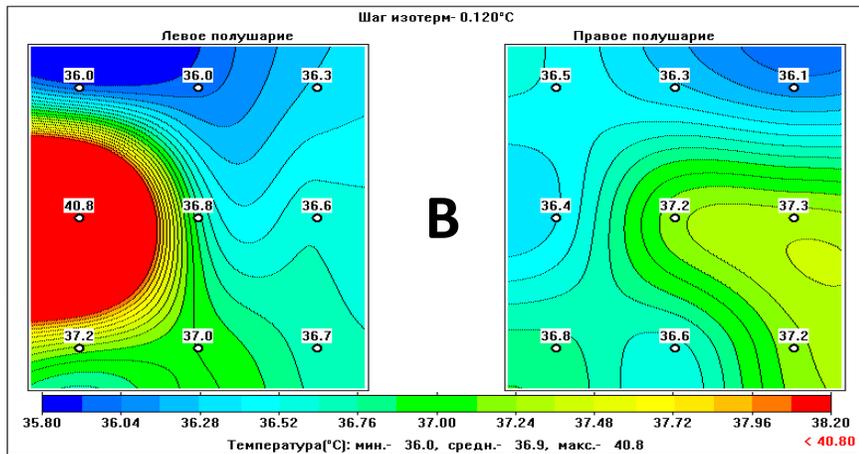
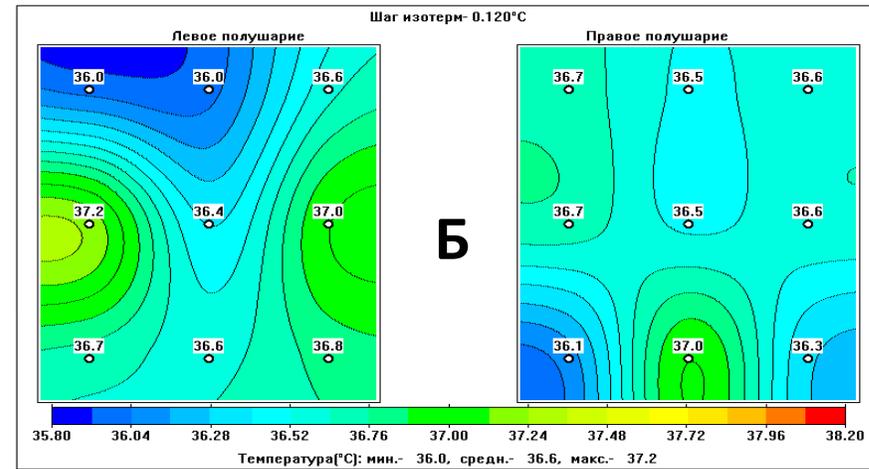
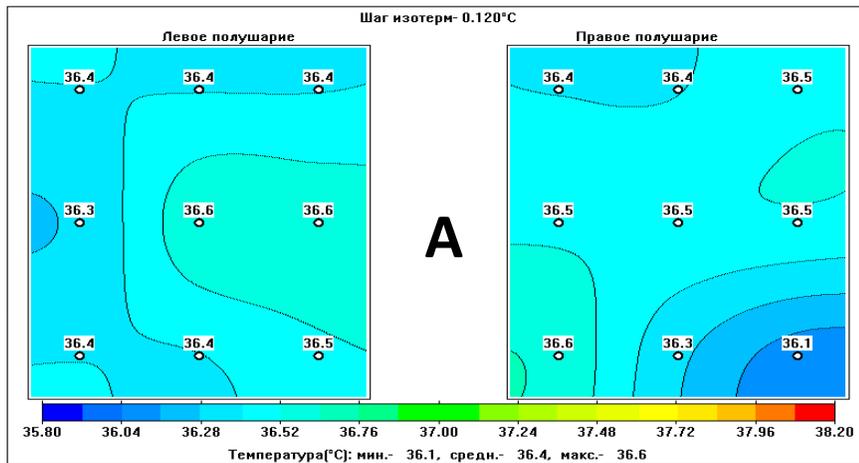
- **Группа 3. Кафедра хоккея ГЦОЛИФК**

8 хоккеистов до и после соревновательной игры.





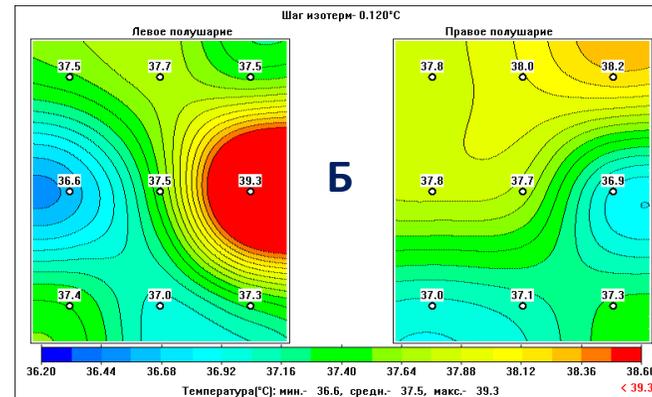
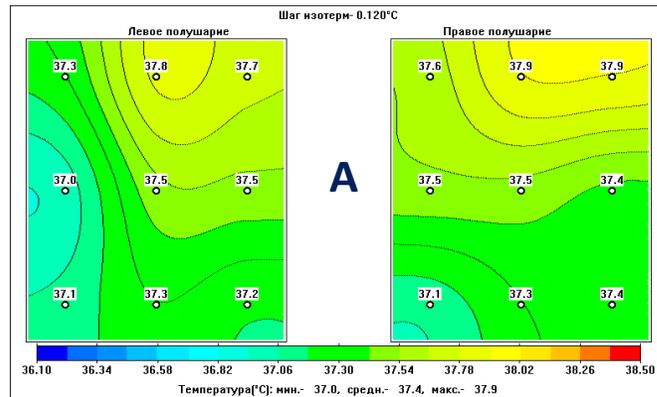
Температура коры головного мозга боксера*



- * Перед тренировкой (А),
- После 20-ти минутной разогревающей тренировки (Б),
- После спарринга (В),
- Через два часа после спарринга (Г).



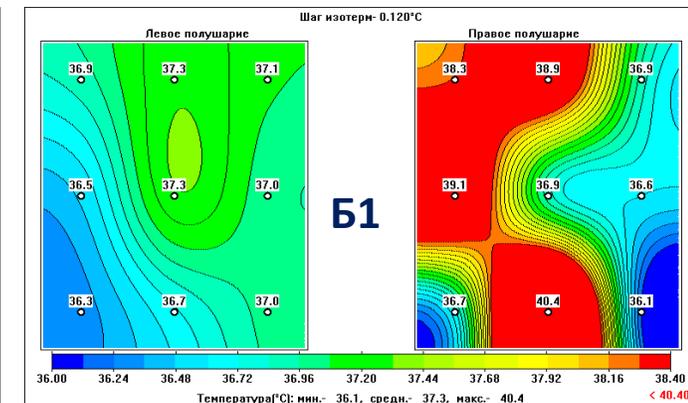
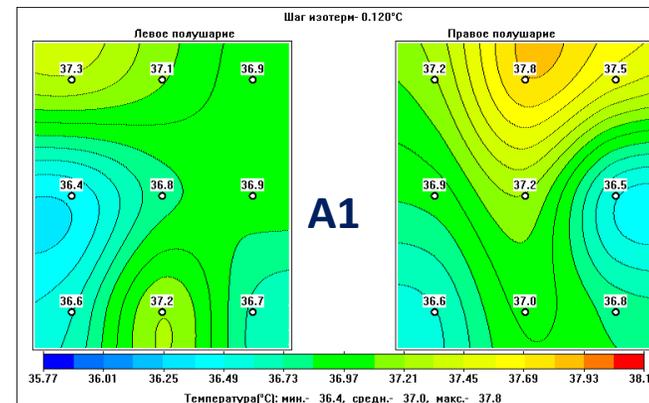
Температура коры головного мозга хоккеистов*



- спортсмен Ш. 24 года
- в анамнезе 7 легких ЧМТ
- амплуа – вратарь
- установочный нистагм
- неустойчивость в позе Ромберга
- ЧМТ не зафиксировано

Очаг гипертермии является следствием ЧМТ, полученных за два дня до исследования во время матча.

- Спортсмен А., 26 лет
- в анамнезе 4 легкие ЧМТ
- амплуа – нападающий
- неврологической симптоматики не выявлено
- зафиксированы 2 столкновения и 1 падение.

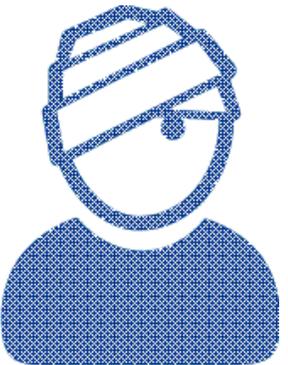


* Перед матчем (А и А1)
После матча (Б и Б1)



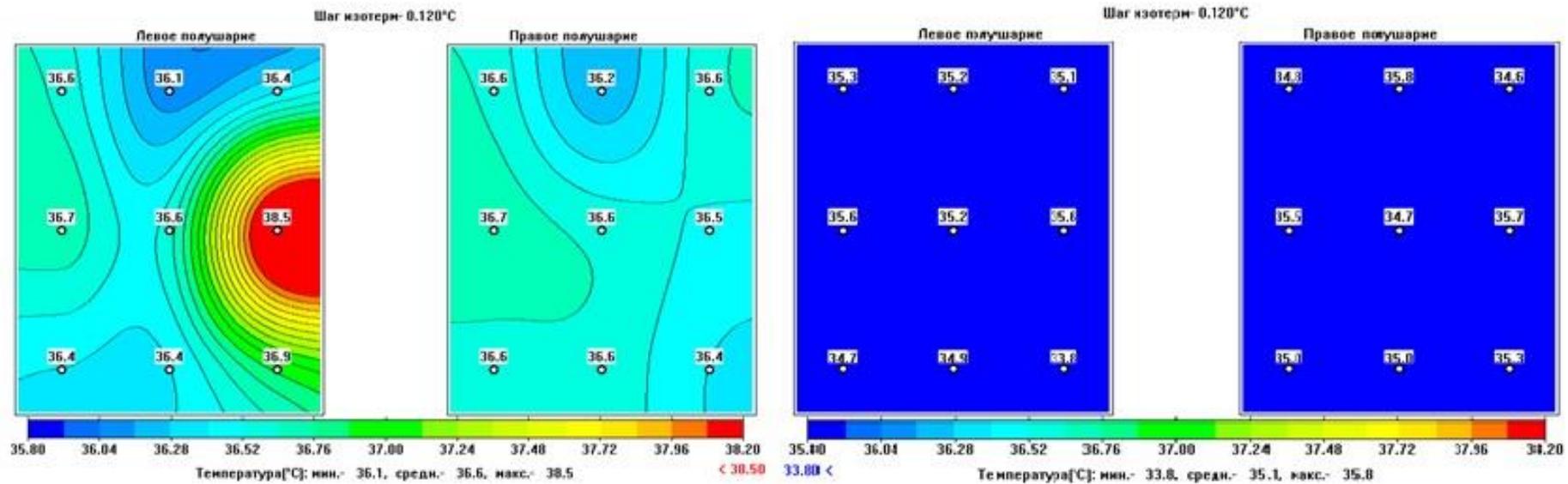
Легкая спортивная ЧМТ

- Типовые индивидуальные области гипертермии – локусы, формирующие основу функционально-морфологических очагов повреждения в будущем.
- Кумулятивные последствия легких ЧМТ способны сформировать очаги гипертермии при нагрузках и стать самостоятельной причиной развития неврологических расстройств без травмы (синдром повторных повреждений).
- Легкая ЧМТ без признаков неврологических расстройств манифестируется развитием фокальной церебральной гипертермии и является признаком получения травмы.





Температура коры больших полушарий боксера*



- В покое Δt горячие/холодные области мозга $\sim 1,5^\circ\text{C}$
- После спарринга Δt горячие/холодные области мозга $>2,0^\circ\text{C}$
- После КЦГ Δt горячие/холодные области мозга $\sim 1,5^\circ\text{C}$

* После спарринга (1)
Через 1 час КЦГ (2)



Терапевтическая эффективность гипотермии

Эффективность гипотермии тем выше, чем раньше начата процедура.

«the earlier the better» - основной принцип применения гипотермии в неотложных состояниях (Euroreanimation)»



Обсуждение результатов

- При получении легких спортивных ЧМТ развивается церебральная гипертермия с формированием областей температурных аномалий.
- Температурная гетерогенность мозга возрастает в связи с тяжестью полученных ЧМТ (число пропущенных ударов в голову).
- Увеличение Δt горячие/холодные области мозга $> 2^{\circ}\text{C}$ свидетельствует о развитии ЧМТ даже при отсутствии неврологических проявлений и жалоб (антиагрегация).
- Краниоцеребральное охлаждение длительностью 60 минут позволяет купировать очаговую и общую гипертермию мозга без изменений базальной температуры.



Тест PWC-170

	Т баз	ЛП (средняя)	ПП (средняя)
До нагрузки	$36,21 \pm 0,07$	$36,46 \pm 0,08$	$36,58 \pm 0,07$
После нагрузки	$37,67 \pm 0,06$	$38,12 \pm 0,09$	$38,17 \pm 0,08$

Динамика $T^{\circ}C$ до и после нагрузки.
 T мозга $>$ тела на $0,5^{\circ}C$

	Т баз	ЛП (средняя)	ПП (средняя)
До гипотермии	$36,33 \pm 0,06$	$36,08 \pm 0,07$	$36,64 \pm 0,08$
После гипотермии	$36,23 \pm 0,06$	$34,62 \pm 0,06$	$34,57 \pm 0,07$

Динамика $T^{\circ}C$ до и после КЦГ.
 T мозга $<$ тела на $1,5^{\circ}C$

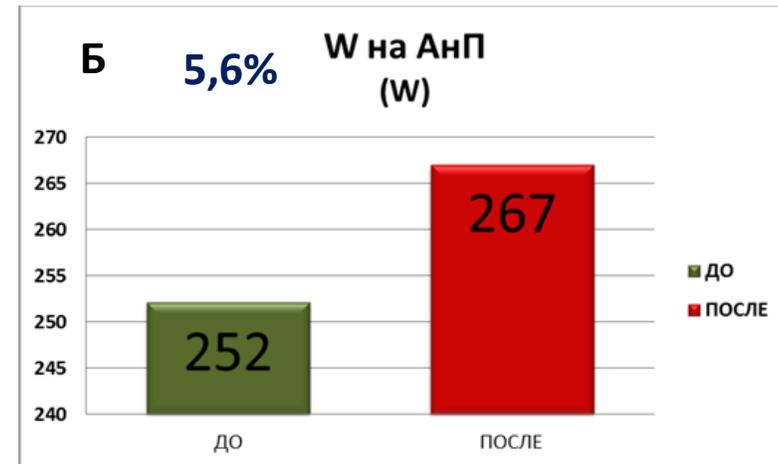
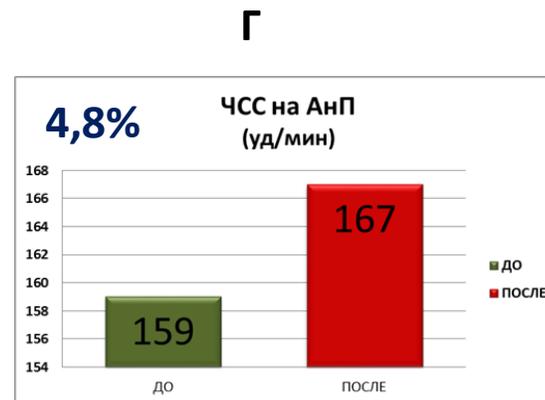
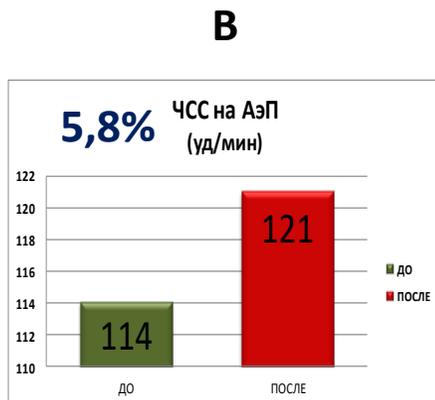
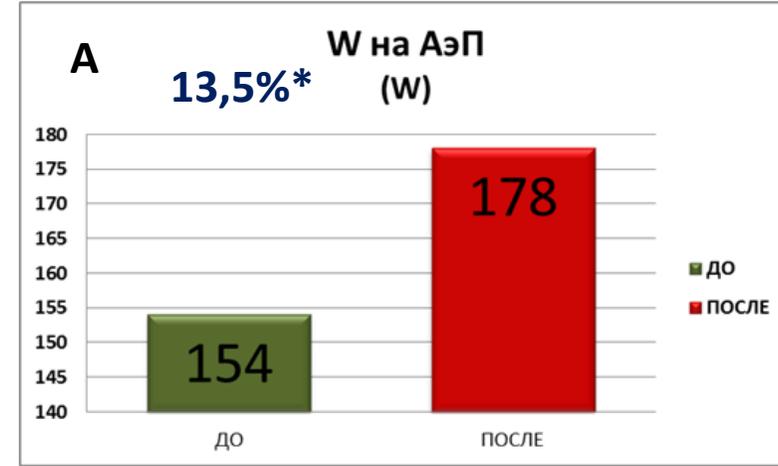
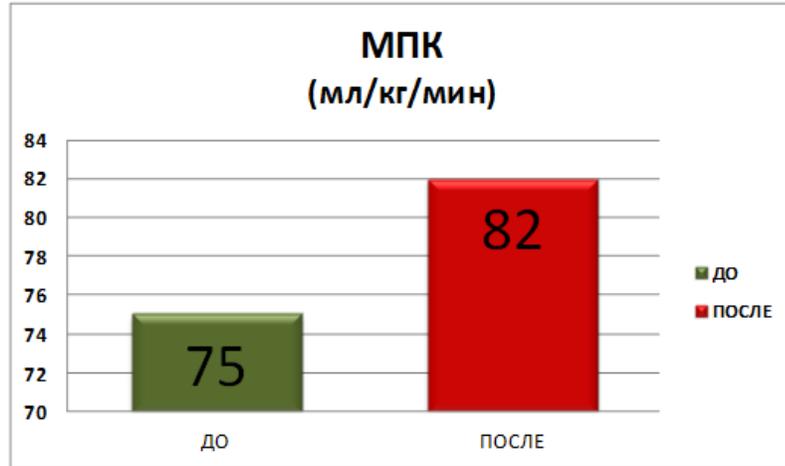
	Т баз	ЛП (средняя)	ПП (средняя)
До PWC	$36,47 \pm 0,06$	$36,12 \pm 0,08$	$36,44 \pm 0,08$
После PWC	$37,23 \pm 0,03$	$37,67 \pm 0,07$	$37,60 \pm 0,07$

Динамика $T^{\circ}C$ после нагрузки на фоне предварительной гипотермии.
 T мозга $>$ тела на $0,5^{\circ}C$

КЦГ перед нагрузкой уменьшает общую рабочую гипертермию
и степень разогрева головного мозга



Тест PWC-170*



* Максимальное потребление кислорода (МПК),
Показатели мощности (W) на аэробном (А) и анаэробном (Б) пороге,
ЧСС на аэробном (В) и анаэробном (Г) пороге



Обсуждение результатов

- Физическая нагрузка обуславливает повышение температуры тела и температуры коры головного мозга, причем температура мозга ($38,15 \pm 0,8^\circ\text{C}$) оказывается выше температуры тела ($37,7 \pm 0,6^\circ\text{C}$).
- 60-ти минутный сеанс КЦГ позволяет понизить температуру коры мозга на $1,5-2^\circ\text{C}$ без изменения температуры тела.
- Выполнение теста PWC_{170} после сеанса КЦГ сопровождается умеренным повышением температуры тела ($37,2 \pm 0,4^\circ\text{C}$), и головного мозга ($37,8 \pm 0,5^\circ\text{C}$), которая оказывается выше температуры тела.
- Показатели физической работоспособности и аэробной производительности (PWC_{170} и МПК) продемонстрировали достоверную динамику улучшения после сеанса КЦГ по сравнению с данными, полученными без предварительного краниocereбрального охлаждения.



Эффекты гипотермии сохраняются после согревания

«Запустив программы цитопротекции можно пожинать плоды охлаждения без охлаждения пациента!»

Rzechorzek N.M., Edinburgh Research Explorer, 2015



Эффекты гипотермии сохраняются после согревания

Снижение температуры нейронов на $1,5^{\circ}\text{C}$ приводит к:

- активации генов раннего реагирования
- синтезу стресс–белков цитопротекции
- повышению устойчивости клеток к действию различных неблагоприятных факторов на протяжении до 24 часов.



Повышение работоспособности спортсменов*

- Для успешных состязаний необходим небольшой рост температуры в рабочих мышцах.
- Нельзя допустить избыточного накопления тепла, но нельзя охлаждать рабочую мускулатуру.
- При понижении внутренней температуры на $1,5^{\circ}\text{C}$ соревновательные результаты повышаются.
- Снижение температуры тела на $1,9^{\circ}\text{C}$ оказывает негативное влияние на результаты.
- **Решение проблемы накопления тепла в организме спортсменов во время разминки:**
 - «Охлаждающие жилеты» (4,8% роста мощности).
 - «Охлаждающие пакеты» (5,6%).
 - Охлажденные напитки (15%).
 - Разминка в охлажденной комнате (10,7%).
 - Омывание холодной водой (1,2%).

* Методика Олимпийского Комитета РФ, 2015



Выводы:

- СВЧ-радиотермометрия головного мозга является перспективной методикой ранней диагностики и определения тяжести спортивной ЧМТ, в том числе в периоде до появления неврологических симптомов.
- Разработанная методика КЦГ позволяет эффективно купировать церебральную гипертермию, а учитывая особую уязвимость мозга при повышении церебральной температуры, КЦГ справедливо рассматривать как метод ранней профилактики осложнений спортивной ЧМТ.
- Своевременное применение КЦГ позволяет снизить риск развития функциональных и структурных повреждений головного мозга, продлить период эффективной спортивной карьеры и улучшить качество жизни по её завершению.
- КЦГ позволяет предупредить развитие центральных механизмов утомления (церебральная гипертермия и гипокapнически обусловленная гипоперфузия мозга) и повысить физическую работоспособность.
- Учитывая, что индивидуальная переносимость высоких температур может определять индивидуальную устойчивость к физическим нагрузкам, СВЧ-термометрия мозга может быть использована как метод прогнозирования профессиональной перспективности спортсмена.