

Ю.Р. Зарипова^{1, 2}, А.Ю. Мейгал¹, В.И. Макарова³¹ Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Российская Федерация² Детская республиканская больница, Петрозаводск, Российская Федерация³ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация

Развитие периферического отдела двигательной системы ребенка первых трех лет жизни по данным накожной электромиографии

Контактная информация:

Зарипова Юлия Рафаэлевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии ПетрГУ

Адрес: 185910, Республика Карелия, Петрозаводск, проспект Ленина, д. 33, тел.: +7 (814) 275-05-90, e-mail: julzar@mail.ru

Статья поступила: 08.11.2014 г., принята к печати: 05.05.2015 г.

Актуальность. Клиническая оценка состояния двигательной системы растущего организма на практике может быть затруднительна в связи с лабильностью и непостоянством многих неврологических симптомов. **Цель.** Изучить развитие периферического отдела двигательной системы ребенка, начиная с 33-й нед гестационного возраста и заканчивая 3 годами (36 мес) постнатальной жизни. **Пациенты и методы.** Обследованы недоношенные (31/32 нед гестации) и доношенные (38/39 нед гестации) дети. Проведено лонгитудинальное выборочное исследование с соблюдением принципов стратифицированной рандомизации. Стратификация проводилась по гестационному и постнатальному возрасту, полу и неврологическому статусу. **Результаты.** У недоношенных детей в первые 6 нед жизни интерференционная электромиограмма (иЭМГ) имела сходство с таковой доношенного новорожденного первых суток и характеризовалась «упрощенной» временной структурой, низкой амплитудой и частотой. У доношенного ребенка динамика параметров иЭМГ была замедлена. У доношенных детей временная структура иЭМГ к концу 2-й недели жизни уже достигает показателей, аналогичных взрослым. Быстрое увеличение нелинейных параметров иЭМГ у доношенных детей в течение первого года жизни отражалось на усложнении сигнала иЭМГ. Линейные параметры иЭМГ монотонно нарастали в течение года. Максимальные изменения показателей нелинейного и линейного анализа были в возрасте 6 мес — критического периода формирования кортикоспинальных проводников и появления произвольных, манипулятивных движений. **Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о важности первых 2 нед жизни в развитии скелетно-мышечной системы доношенных детей, в течение которых формируется «взрослый» тип организации мотонейронного пула. В то же время количественные изменения на иЭМГ (рост амплитуды) продолжают в течение всех 36 мес обследования, что указывает на продолжающийся рост скелетных мышц. Особенностью иЭМГ недоношенных детей является более простая временная организация, что говорит о сохраняющемся «внутриутробном» паттерне работы мотонейронного пула.

Ключевые слова: недоношенные дети, доношенные дети, нелинейные и линейные параметры, электромиография, нейромышечный статус.

(Для цитирования: Зарипова Ю.Р., Мейгал А.Ю., Макарова В.И. Развитие периферического отдела двигательной системы ребенка первых трех лет жизни по данным накожной электромиографии. Педиатрическая фармакология. 2015; 12 (3): 277–282. doi: 10.15690/pf.v12i3.1351)

Yu.R. Zaripova^{1, 2}, A.Yu. Meigal¹, V.I. Makarova³¹ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation² Republican Children's Hospital, Petrozavodsk, Russian Federation³ Northern State medical University, Archangelsk, Russian Federation

Development of an Infant's Peripheral Motor System Within the First 3 Years of Life as Studied Using Surface Electromyography

The clinical assessment of the motor system's condition of a growing infant is often complicated due to the volatility of neurological symptoms. **Aim.** The study was aimed to follow the ontogenesis of the motor function from the 33rd week of postconceptual life to the 36th week of postnatal life using linear and nonlinear parameters of the surface electromyography (sEMG). **Methods.** The study was longitudinal by its design, selective, stratified and randomized. Premature (31/32 week of gestation) and term (38/39 weeks of gestation) infants were studied. Stratified by gestational and postnatal age, sex and neurological status. **Results.** In the premature infants the sEMG had an appearance of that of the first day term newborn seen as «simplified pattern», low amplitude and spectral frequency. The temporal dynamics of sEMG parameters were slower in premature infants. In contrast, a fast increase of nonlinear sEMG parameters in term newborns within the first year of life may be an evidence for a complication of the sEMG signal. The linear sEMG parameters increased monotonously across the first life year. Maximal values of both linear and nonlinear parameters were characteristic for the 6th month of life. That might reflect the critical period of formation of the cortico-spinal pathways and manipulative motion. **Conclusion.** The findings suggest the importance of the first two weeks of life in the development of musculoskeletal term infants, which is formed during the «adult» type of the motoneuron pool organization. At the same time, quantitative changes in sEMG (increase of amplitude) continued during all 36 months of the study, which indicates a continuing growth of skeletal muscles. sEMG in preterm infants features a more simple temporal organization. This suggests the continuing «intrauterine» pattern of the motor neuron pool work.

Key words: premature infant, term infant, linear and nonlinear parameters, electromyography, neuromuscular status.

(For citation: Zaripova Yu. R., Meigal A. Yu., Makarova V. I. Development of an Infant's Peripheral Motor System Within the First 3 Years of Life as Studied Using Surface Electromyography. *Pediatricheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2015; 12 (3): 277–282. doi: 10.15690/pf.v12i3.1351)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже описан длительный этап постнатального созревания двигательной системы человека, включающий в себя становление скелетной мускулатуры и нервных центров [1]. Несмотря на это, упомянутые выше процессы созревания имеют ряд закономерностей, не согласованных (асинхронных) во времени с кризисными периодами созревания организма в целом [2]. Нейроэволюционная концепция развития нервной системы объясняет эти закономерности в первую очередь онтогенетической адаптацией, подразумевающей под собой смену двигательной активности для адекватной адаптации организма к условиям внутренней и внешней среды на различных этапах онтогенеза [3]. В качестве примера можно привести функциональную преемственность двигательной активности у нерожденного, новорожденного и ребенка раннего возраста, при этом драматический процесс родов не является значимым фактором для формирования одних видов двигательной активности, реакций и рефлексов и угасания других [4, 5].

Морфологическое развитие двигательной системы человека к настоящему времени широко и подробно описано в различных источниках [6, 7]. После рождения изменению подвержены как физиологические, так и морфологические свойства двигательных единиц [8–11]. У нерожденных и новорожденных детей особенностями морфологии нервной системы являются одновременное созревание ее структур, незрелый нейрональный аппарат и межнейрональные контакты, малая скорость проведения по немиелинизированным волокнам и низкие частоты разрядов [8]. Несмотря на то, что большая часть результатов получена на животных [8], в последние годы стали появляться работы с участием детей раннего возраста. В этих работах было показано, что характер интерференционной электромиограммы (иЭМГ) у детей первого дня жизни существенно отличается от такового у взрослых. В частности, такие нелинейные параметры, как фрактальная и корреляционная размерность, были значительно ниже (1,35 и 4,0) по сравнению со взрослыми (1,75 и 4,5, соответственно) [4]. Более того, даже в течение первых 4 суток эти параметры значительно изменялись, что указывает на их особую чувствительность к действию внеутробных факторов [12]. Также известно, что в течение первого года жизни меняются турнамплитудные параметры у детей первого года жизни [13]. Очевидно, что для понимания онтогенеза моторной системы растущего организма этих данных явно недостаточно.

С другой стороны, кроме морфологических особенностей, большое внимание уделяется функциональному состоянию двигательной сферы ребенка (максимальной скорости, силе и ритму сокращений мышцы, точности движений), оценка которого возможна лишь с 3–6-летнего возраста [14]. У детей раннего возраста тестирование динамики двигательной функции проводят по таким показателям моторики, как мышечный тонус, глубокие периостальные и сухожильные рефлексы, лабиринтные и шейно-тонические рефлексы, пассивные и спонтанные генерализованные движения [2]. Из всего вышеперечисленного одной из самых важных характеристик не только состояния нервной системы, но и состояния организма в целом у новорожденных детей является тонус мышц. Он может изменяться в зависимости от типа конституции, срока гестации, уровня сознания и физиологического состояния ребенка, вследствие этого важно не забывать, особенно в первые 3 мес жизни, о возможности девиантных или пограничных отклонений неврологического статуса. Что касается лабильных периостальных рефлек-

сов у новорожденного ребенка, оценка их изолированно от других показателей является малоинформативной [15]. Таким образом, диагностика состояния нервной системы растущего ребенка на практике может быть затруднительна в связи с тем, что разнообразные неврологические явления в тех или иных условиях и в различные возрастные периоды могут быть расценены как оптимальные и субоптимальные [2]. Теория «классической» неврологии, придающая тому или иному феномену однозначный атрибут «нормальное»/«ненормальное», «патологическое», становится малопродуктивной в неврологии развивающегося организма [2].

Целью нашего исследования с учетом существующих данных стало изучение развития периферического отдела двигательной системы ребенка, начиная с 33-й нед гестационного возраста (ГВ) и заканчивая 3 годами (36 мес) постнатальной жизни.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дизайн исследования

Исследование было лонгитудинальным выборочным с соблюдением принципов стратифицированной рандомизации. Стратификация проводилась по гестационному и постнатальному возрасту, полу и неврологическому статусу.

Критерии соответствия

Критерии включения для группы недоношенных детей: ГВ 31–32 нед; постнатальный возраст 2; 4; 6 нед; низкая степень риска — отсутствие серьезных отклонений в соматическом и неврологическом статусе ребенка [2].

Критерии включения для группы доношенных детей: ГВ 38/39 нед; постнатальный возраст 0–1, 1–3, 3–6, 6–9, 9–12, 12–24 и 24–36 мес; группа здоровья II.

Критерии невключения для исследуемых групп: тяжелое состояние, дыхательные нарушения, гипербилирубинемия средней или тяжелой степени, генерализованная инфекция, врожденные пороки развития, анемия средней или тяжелой степени, задержка внутриутробного развития, перинатальное поражение ЦНС средней или тяжелой степени, рахит активный, белково-энергетическая недостаточность (гипотрофия), ожирение, болезни кожи и подкожной клетчатки.

Характеристика исследования

Исследование включало изучение ante- и интранатального анамнеза, антропометрии, характера вскармливания, наличия сопутствующей патологии, оценку неврологического статуса и использование электромиографических методик. Для реализации поставленной цели применена неинвазивная электромиография (ЭМГ) с новыми нелинейными и традиционными линейными параметрами сигнала [4, 16, 17].

Место проведения

Обследование детей проводилось в ГБУЗ «Детская республиканская больница» (Петрозаводск) с информированного согласия матери ребенка, разрешения Этического комитета при Минздраве Республики Карелия.

Методы регистрации

Для регистрации электромиограммы отводящие поверхностные биполярные электроды (ОО «Нейрософт», Иваново, Россия) фиксировали с помощью руки исследователя или резиновой ленты вдоль хода мышечных волокон. Заземляющий электрод располагали в области лучезапястного сустава или нижней трети голени ребенка или прижимали рукой к коже, не касаясь рукой врача

кожи ребенка. Между кожей и электродами для улучшения проведения электрических сигналов помещали электролитсодержащий гель. Для усиления ЭМГ-сигнала применяли электромиографы Нейро-МВП-4 и Нейро-МВП-Микро (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия). Частота опроса аналого-цифрового преобразователя — 20 КГц, полоса пропускания сигнала — 50–1000 Гц. Запись электромиограммы производили на жесткий диск для последующей обработки последовательно с четырех крупных мышц верхних и нижних конечностей (правой руки и левой ноги), имеющих подкожную локализацию: двуглавой (*m. biceps brachii*) и трехглавой мышц плеча (*m. triceps brachii*); передней большеберцовой (*m. tibialis anterior*) и икроножной мышц голени (*m. gastrocnemius*).

Анализ данных

Нелинейный анализ иЭМГ проводился с помощью программы FRACTAN 4.4 (ИПМБ РАН, Пущино) и включал в себя исследование следующих параметров:

- 1) фрактальной размерности (D_f);
- 2) корреляционной размерности (D_c);
- 3) корреляционной энтропии (K_2).

Фрактальная размерность является мерой плотности заполнения плоскости кривой электромиограммы и дает возможность оценивать внутренние взаимосвязи нелинейного процесса и меру самоподобия иЭМГ [18]. Степень сложности поведения динамической системы, а также количество факторов, управляющих этой системой, характеризуются корреляционной размерностью D_c . Чем выше значения D_c , тем более сложный сигнал, и тем больше параметров (уравнений, или генераторов сигнала) им управляет. Корреляционная энтропия K_2 отражает степень потери информации о системе во времени. Фактически K_2 , как информационная размерность, характеризует количественно степень хаотичности системы, а также то, как быстро система становится малопредсказуемой. Высокие значения K_2 свидетельствуют о непредсказуемости сигнала. В целом, все три нелинейных параметра указывают на упорядоченность сигнала и, в конечном счете, на степень синхронизации активности мотонейронов (двигательных единиц).

В линейном анализе иЭМГ проанализированы средняя максимальная амплитуда (A , мкВ) и средняя частота (MNF, Гц).

Условия проведения

Дети обследовались в период бодрствования между кормлениями с тщательным соблюдением теплового режима в связи с тем, что низкая температура окружающей среды может привести к мышечному гипертонусу и тремору, а высокая — к мышечной гипотонии. Запись иЭМГ у недоношенных детей 2 нед жизни проводилась в палате в условиях кувеза (температура воздуха 32°C, влажность 40%). Контроль температуры тела осуществлялся с помощью накожного датчика сервоконтроля. В возрасте 4 и 6 нед жизни дети обследовались на пеленальном столике при температуре воздуха в боксе 24–25°C и низкой постоянной скорости движения воздуха (0,1 м/с). Доношенные новорожденные и дети первых трех лет жизни были обследованы в кабинете нейрофизиологических методов исследования на кушетке после 1–2-минутной адаптации ребенка в развернутом виде при температуре воздуха 24–25°C и постоянной скорости движения воздуха (0,1 м/с). Периферическая температура тела контролировалась с помощью электротермометра (UT-102, A&D Company, Ltd., Япония) с точностью измерения до 0,1°C.

Для оценки неврологического статуса недоношенных детей была апробирована схема неврологического осмотра недоношенного ребенка [2]. Доношенные дети обследованы по общепринятой в педиатрической практике схеме [19].

Статистический анализ

Статистическая обработка проведена с использованием программы Excel 2003 и SPSS 12.0™ и Statgraphics Centurion 15.0. Для определения межгрупповых различий (возрастных групп и разных групп детей) использовали критерии Краскела–Уоллиса (W-критерий) и Манна–Уитни (U-критерий).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

В исследование вошли 3 группы новорожденных детей. В каждой группе было равное количество девочек и мальчиков:

- 1) недоношенные дети низкой степени риска с ГВ 31/32 нед в возрасте 2; 4; 6 (33; 35; 37 нед постконцептуального возраста, ПКВ) нед жизни (30 обследований, 120 сеансов ЭМГ);
- 2) доношенные дети без отклонений в неврологическом статусе с ГВ 38/39 нед в возрасте 2; 4; 6 нед жизни (30 обследований, 120 сеансов ЭМГ);
- 3) доношенные дети без отклонений в неврологическом статусе в возрасте 1,5–36 мес (3 лет) жизни (120 обследований, 480 сеансов ЭМГ).

Дети первого года были обследованы с учетом сроков созревания антигравитационных систем [1] в возрасте 1,5–3 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ), 3–6 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ), 6–9 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ), 9–12 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ), 12–24 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ) и 24–36 (20 обследований, 80 сеансов ЭМГ) мес.

Особенности групп исследования

Сопутствующая патология в группе недоношенных и доношенных детей не различалась и включала в себя конъюгационную желтуху легкой степени, атопический дерматит, инфекцию мочевыводящих путей, железодефицитную анемию легкой степени тяжести и водянку оболочек яичек. На втором и третьем годах жизни превалировала инфекция мочевыделительной системы, анемия легкой степени тяжести и малые аномалии сердца.

Клиническая оценка недоношенных детей в первые 6 нед жизни по схеме неврологического осмотра [2] выявила следующие особенности. В 2 нед жизни (33 нед ПКВ) оптимальный показатель развития (≥ 32 баллов) наблюдался у 20% детей, нормальный показатель ($\geq 26,5$ баллов) — у 80%. Часть новорожденных имели асимметрию мышечного тонуса: 10% — в верхних конечностях, 30% — в нижних конечностях. В возрасте 4 нед (35 нед ПКВ) отмечен максимальный показатель развития у 30% детей. Оптимальный показатель был у 40% и нормальный — у 30% новорожденных. Асимметрия мышечного тонуса в ногах была диагностирована у 10% обследуемых. В 6 нед жизни (37 нед ПКВ) максимальный показатель неврологического развития наблюдался у 50% детей, оптимальный — у 40% и нормальный — у 10%.

У детей на первом году жизни были выявлены следующие клинические особенности двигательной системы. В 25% случаев наблюдались изменения спонтанной двигательной активности: снижение — у 12%, повышение — у 10%, асимметрия движений — у 3% детей. Мышечная гипотония была у 5%, гипертонус — у 12%, асимметрия —

у 6% детей; 94% ребенка имели неизменные периостальные рефлексы. При оценке рефлексов новорожденных в соответствующих возрастных группах в 12% случаев отмечено их усиление, в 5% — ослабление. В возрасте 12–24 мес у 10% детей выявлена мышечная гипотония, у 20% — асимметрия мышечного тонуса. На третьем году жизни 5% детей имели умеренную мышечную гипотонию. Полученные результаты свидетельствуют о девиантности неврологического статуса у детей раннего возраста, не всегда являющихся патофизиологическим феноменом и соответствуют влиянию на периферический отдел двигательной системы растущего организма различных структур головного мозга.

Нелинейные параметры иЭМГ

У недоношенных детей в возрасте 33 нед ПКВ (2 постнатальные нед) фрактальная размерность (D) иЭМГ была одинаковой во всех исследованных мышцах и составила примерно 1,5–1,64 (стандартное отклонение в одну сигму). Значения корреляционной размерности (D_c) и корреляционной энтропии (K_2) составили 4,0–5,0 во всех исследуемых мышцах (рис. 1, 2). Данные показатели были достоверно ниже аналогичных параметров у доношенных сверстников: D — 1,74–1,85, а D_c и K_2 — 6,4–9,9. Таким образом, в течение 4 нед у недоношенных детей происходило увеличение нелинейных параметров (см. рис. 1, 2).

В отличие от недоношенных у доношенных новорожденных со 2-й нед постнатальной жизни параметры иЭМГ уже имели высокие значения и мало менялись в течение

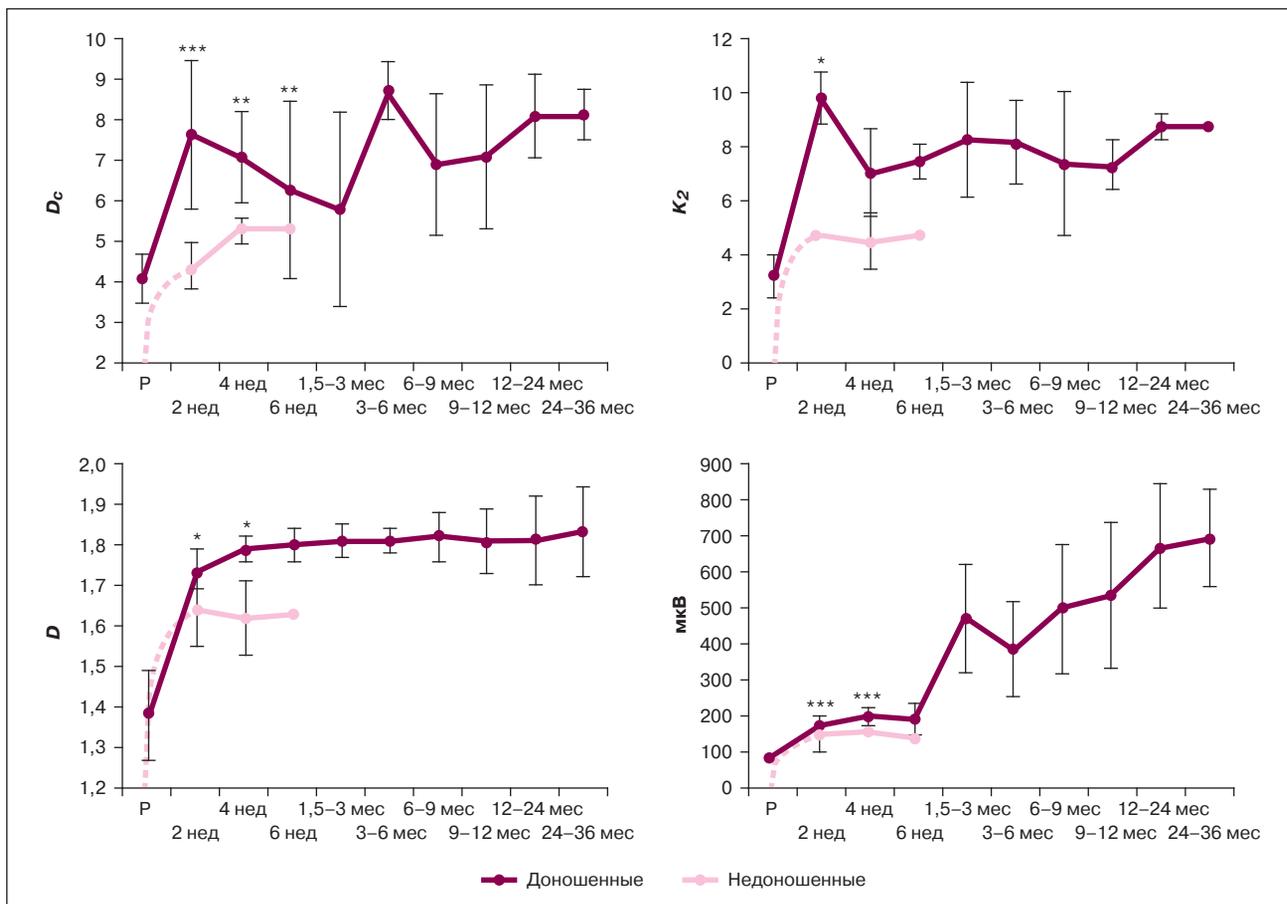
последующих 4 нед. В то же время известно, что у доношенных детей первого дня жизни все нелинейные параметры иЭМГ очень низкие (D — 1,35–1,45, D_c и K_2 ~ 2,5–4,0) [4] (см. рис. 1, 2). Это означает, что в течение первых двух недель жизни происходит скачкообразный рост значений нелинейных параметров, который уже затем мало меняется вплоть до взрослого состояния [20].

В течение первого года жизни у доношенных детей в целом происходило увеличение нелинейных параметров: D_c — максимально в возрасте 3–6 мес (5,78–9,03), а K_2 — в 6–9 мес (8,23–9,7). Значения D в динамике практически не изменялись и составили примерно 1,79–1,82. К концу 12-го мес жизни значения нелинейных параметров у здоровых доношенных детей были таковы: D_c — 5,36–7,77; D — 1,76–1,83; K_2 — 7,34–9,0. Дальнейшая незначительная динамика в 24 и 36 мес отмечена лишь у D_c (6,91–7,99 и 6,84–8,4, соответственно). Значения других нелинейных параметров с возрастом практически не изменялись (см. рис. 1, 2).

Линейные параметры иЭМГ

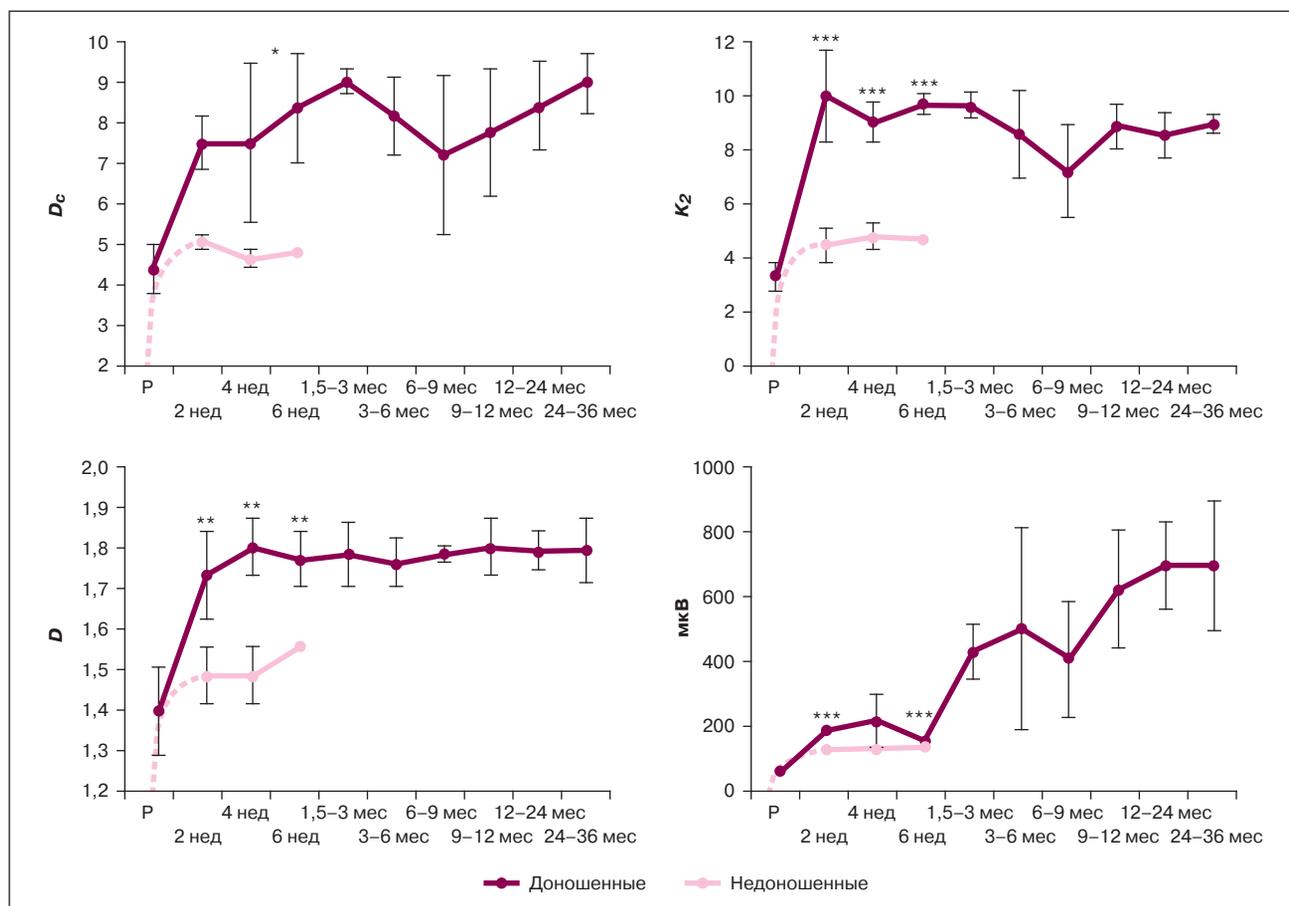
Максимальная амплитуда иЭМГ у недоношенных детей в 33 нед ПКВ составила 130–173 мкВ (стандартное отклонение в одну сигму), а средняя частота спектра — 166–185 Гц. У детей, родившихся в срок, данные параметры были выше — 181–230 мкВ и 184–238 Гц, соответственно (см. рис. 1, 2). Различий в линейных параметрах мышц рук и ног не отмечено. В течение первых 6 нед жизни у недоношенных детей заметна динамика

Рис. 1. Сравнительная динамика корреляционной размерности (D_c), корреляционной энтропии (K_2), фрактальной размерности (D) и средней амплитуды (мкВ) иЭМГ в *m. biceps brachii* у недоношенных (2–6 нед жизни) и доношенных детей (2 нед–36 мес жизни)



Примечание. P — рождение (доношенные дети первых 4 дней жизни). * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ при межгрупповом сравнении недоношенных детей с доношенными сверстниками.

Рис. 2. Сравнительная динамика корреляционной размерности (D_c), корреляционной энтропии (K_2), фрактальной размерности (D) и средней амплитуды (мкВ) и ЭМГ в *m. gastrocnemius* у недоношенных (2–6 нед жизни) и доношенных детей (2 нед–36 мес жизни)



Примечание. P — рождение (доношенные дети первых 4 дней жизни). * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ при межгрупповом сравнении недоношенных детей с доношенными сверстниками.

максимальной амплитуды лишь в *m. triceps brachii* — 160–300 мкВ. В возрасте 1,5–36 мес продолжалось увеличение значений максимальной амплитуды (мкВ) во всех мышцах (см. рис. 1, 2), средняя частота спектра практически не изменялась.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе представлены данные о динамике параметров интерференционной электромиограммы доношенных детей первых 36 мес жизни. Также были получены образцы иЭМГ в динамике у недоношенных детей в возрасте от 2 до 6 нед, находящих на 33–37-й нед постконцептуальной жизни. Недоношенные дети, с точки зрения единой временной шкалы, находились еще в «пренатальном состоянии» и только к 6-й нед после родов достигали развития доношенных детей сразу после рождения. Таким образом, данная работа представляет собой попытку «заглянуть» в пренатальное состояние скелетно-мышечной системы и рассмотреть ее развитие на протяжении последующих 3 лет с помощью нелинейных параметров иЭМГ. Нелинейные параметры различных биосигналов в последнее десятилетие все чаще используются для понимания физиологических и патологических процессов [21–24], а сигнал иЭМГ считается адекватным для понимания физиологических механизмов, протекающих в скелетной мышце [21].

Основным наблюдением данной работы является то, что у доношенных детей временная структура иЭМГ на 2-й нед после рождения уже практически достига-

ет показателей, характерных для взрослых. Об этом свидетельствуют высокие значения всех нелинейных параметров (фрактальной и корреляционной размерности, корреляционной энтропии) у доношенных детей со 2-й постнатальной недели. Например, у доношенных детей фрактальная размерность составила в данном исследовании примерно 1,8 уже на 2-й нед после родов (см. рис. 1, 2), а у взрослого — 1,75 [20] и далее уже практически не изменялась на протяжении 36 мес жизни. Аналогичная динамика была характерна для корреляционной размерности и энтропии (см. рис. 1, 2). Согласно литературным данным, нелинейные параметры иЭМГ у доношенных детей первых дней жизни имеют существенно меньшие значения (см. рис. 1, 2). Например, фрактальная размерность иЭМГ в первый день жизни составляет всего 1,3–1,4 [12]. Нелинейные параметры с разных точек зрения характеризуют временную организацию процесса, каковым является и иЭМГ. Малые значения фрактальной размерности свидетельствуют о малом количестве событий на иЭМГ (перегибов, самоподобных структур, пиков), невысокие значения корреляционной размерности — о небольшой сложности системы (малом количестве управляющих элементов), а низкая энтропия — о высокой предсказуемости и упорядоченности любого, в том числе физиологического, процесса [24]. В целом, эти данные указывают на скачкообразный рост сложности генератора (мотонейронного пула), который и создает иЭМГ. Вероятно, действующими факторами, которые столь серьезно изменяют организацию иЭМГ,

являются гравитация и более низкая температура, характерные для внеутробной жизни [25, 26].

Нейрофизиологическая интерпретация полученных результатов базируется на данных, полученных при исследовании активности отдельных двигательных единиц (ДЕ) и иЭМГ. В частности, было показано, что снижение энтропии иЭМГ связано с ростом синхронизации активности двигательных единиц [27] и появлением скрытых ритмов на иЭМГ, также характерных для синхронизации ДЕ [17, 22]. Интересно отметить, что такой классический линейный параметр иЭМГ, как амплитуда, в отличие от нелинейных параметров, монотонно растет на протяжении всех 36 мес после рождения (см. рис. 1, 2). Это свидетельствует о продолжающемся количественном росте скелетно-мышечных волокон детей на фоне уже сформировавшейся качественной характеристики — сложности иЭМГ, то есть организации активности мотонейронного пула.

Данные о параметрах иЭМГ недоношенных детей позволяют сделать предположение, что происходит внутриутробно, когда нерожденный ребенок еще погружен в околоплодные воды и фактически подвергается иммерсионной микрогравитации [26]. Выяснилось, что все нелинейные параметры иЭМГ у недоношенных детей примерно вдвое меньше по сравнению с доношенными сверстниками. Это указывает на «упрощенность» спинального генератора иЭМГ, то есть мотонейронного пула, у недоношенных детей. Известно, что повышенная синхронизация активности ДЕ приводит к увеличению силы мышечного сокращения [28], что может быть адаптивной реакцией у недоношенных детей. Далее, в течение 4 нед (со 2-ю по 6-ю нед жизни) сложность иЭМГ медленно нарастает, но так и не достигает

значений, характерных для доношенных сверстников. Методические, административные и этические ограничения не позволяют получить образцы иЭМГ у недоношенных детей первых суток жизни. Однако мы можем предположить, что нелинейные параметры иЭМГ у таких детей еще ниже (на уровне 1,0–1,1 для фрактальной размерности). Рождение и, соответственно, актуализация новых, внеутробных факторов может привести в течение первых двух недель к росту сложности иЭМГ, аналогичному у доношенных детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о важности первых двух недель жизни в развитии скелетно-мышечной системы доношенных детей, в течение которых формируется «взрослый» тип организации мотонейронного пула. В то же время количественные изменения на иЭМГ (рост амплитуды) продолжают в течение всех 36 мес обследования, что указывает на продолжающийся рост скелетных мышц. Особенностью иЭМГ недоношенных детей является более простая временная организация, что говорит о сохраняющемся «внутриутробном» паттерне работы мотонейронного пула.

КОФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной статьи подтвердили, что исследование выполнено в рамках и при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг. «Университетский комплекс ПетрГУ в научно-образовательном пространстве Европейского Севера: стратегия инновационного развития» Министерства образования и науки РФ, № 01201372071.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршавский И. А. Принцип доминанты в индивидуальном развитии организма. *Журнал. высш. нервн. деят.* 1993; 43 (4): 785–794.
2. Пальчик А. Б., Фёдорова Л. А., Понятишин А. Е. Неврология недоношенных детей. М.: МЕДПРЕСС-информ. 2010. 352 с.
3. Prechtl H.F.R. The optimality concept. *Early Human Development.* 1980; 4 (3): 201–205.
4. Мейгал А. Ю., Ворошилов А. С. Перинатальная модель перехода человека от гипогравитации к земной гравитации на основе нелинейных характеристик электромиограммы. *Авиакосм. и экол. мед.* 2009; 43 (6): 14–19.
5. Пальчик А. Б. Эволюционная неврология. С.-Пб.: Питер. 2002. 384 с.
6. Корниенко И. А. Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции. М.: Наука. 1979. 160 с.
7. Мак-Комас А. Дж. Скелетные мышцы (строение и функции). Киев: Олимпийская литература. 2001. 406 с.
8. Бурсиан А. В. Ранний онтогенез моторного аппарата теплокровных. Л.: Наука. 1983. 165 с.
9. De Luca C. J., Ramen G. Motor unit firing behavior in older adults. *Rehabil Res Dev.* 1991; 28: 232.
10. Jones S. P., Ridge R. V. Motor unit in a skeletal muscle of neonatal rat: mechanical properties and weak neuromuscular transmission. *J Physiol. (Gr Brit).* 1987; 38: 355–375.
11. Sturman M. M., Vaillancourt D. E., Corcos D. M. Effects of aging on the regularity of physiological tremor. *J Neurophysiol.* 2005; 93: 3064–3074.
12. Ворошилов А. С., Мейгал А. Ю. Нелинейные параметры интерференционной электромиограммы у детей первых двух суток жизни. *Физиология человека.* 2011; 37 (3): 283–290.
13. Зарипова Ю. Р., Мейгал А. Ю. Электромиография как метод диагностики двигательных расстройств у детей раннего возраста. *Детская больница.* 2005; 21 (3): 13–19.
14. Безруких М. М., Киселев М. Ф. Возрастные особенности организации двигательной активности у детей 6–16 лет. *Физиология человека.* 2000; 26 (3): 100–107.
15. Пальчик А. Б., Шабалов Н. П. Гипоксически-ишемическая энцефалопатия новорожденных. М.: МЕДПРЕСС-информ. 2009. 253 с.
16. Bruggink J. L., Einspieler C., Butcher P. R., Stremmelaar E. F., Prechtl H. F. R., Bos A. F. Quantitative aspects of the early motor

- repertoire in preterm infants: do they predict minor neurological dysfunction at school age? *Early Hum Dev.* 2009; 85: 25–36.
17. Meigal A., Rissanen S., Tarvainen M. Linear and nonlinear tremor acceleration characteristics in patients with Parkinson's disease. *Physiol Measur.* 2012; 33: 395–412.
18. Федер Е. Фракталы. Пер. с англ. М.: Мир. 1991. 254 с.
19. Шабалов Н. П. Неонатология: учеб. пособие в 2-х томах. М.: МЕДПРЕСС-информ. 2009. Т. 1. 607 с.
20. Мейгал А. Ю., Воронова Н. В., Елаева Л. Е., Кузьмина Г. И. Характеристика электромиограммы женщин в разные фазы менструального цикла в зависимости от сезона и типа вегетативной регуляции. *Физиология человека.* 2014; 40 (1): 113–121.
21. Farina D., Merletti R., Enoka R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J Appl Physiol.* 2003; 96: 1486–1495.
22. Meigal A., Rissanen S., Kankaanpaa M., Tarvainen M., Nuutinen J., Tarkka I., Airaksinen O., Kajalainen P. A. Novel parameters of surface EMG in patients with Parkinson's disease and healthy young and old controls. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009; 19 (3): 206–213.
23. Sung P. S., Zurcher U., Kaufman M. Comparison of spectral and entropic measures for surface electromyography time series: a pilot study. *J Rehabil Res and Dev.* 2007; 44: 599–610.
24. Goldberger A. L., Amaral L. A., Hausdorff J. M., Ivanov P. Ch., Peng C. K., Stanley H. E. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proc Natl Acad Sci.* 2002; 99 (Suppl. 1): 2466–2472.
25. Мейгал А. Ю. Онтогенетическая модель гравитации и невесомости: теоретические и практические аспекты. *Физиология человека.* 2011; 37 (6): 130–138.
26. Meigal A. Y. Synergistic action of gravity and temperature on the motor system within the lifespan: a «Baby Astronaut» hypothesis. *Med Hypotheses.* 2013; 80: 275–83.
27. Del Santo F., Gelli F., Mazzocchio R., Rossi A. Recurrence quantification analysis of surface EMG detects changes in motor unit synchronization induced by recurrent inhibition. *Exp Brain Res.* 2007; 178: 308–315.
28. Semmler J. G., Nordstrom M. A. Motor unit discharge and force tremor in skill- and strength-trained individuals. *Exp Brain Res.* 1998; 119: 27–38.