

**ЮЛИЯ РАФАЭЛЬЕВНА ЗАРИПОВА**кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*julzar@mail.ru***АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ МЕЙГАЛ**доктор медицинских наук, заведующий лабораторией новых методов физиологических исследований Института высоких биомедицинских технологий, профессор кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*meigal@petsu.ru*

## КЛИНИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙРОМЫШЕЧНОГО СТАТУСА У НЕДОНОШЕННЫХ ДЕТЕЙ\*

При помощи клинических и электромиографических критериев охарактеризован нейромышечный статус у недоношенных детей в течение первых 6 недель жизни. В ходе клинического осмотра выявлена положительная динамика неврологического статуса. Установлено, что у недоношенных детей в первые 6 недель постнатального периода интерференционная электромиограмма (иЭМГ) имеет сходство с иЭМГ доношенного новорожденного первых дней жизни и характеризуется «упрощенной» временной структурой, низкой амплитудой и частотой, замедленной динамикой параметров ЭМГ.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Достижения неонатальной медицины в последние десятилетия привели к значительному повышению выживаемости недоношенных детей с очень низкой (ОНМТ) и экстремально низкой массой тела (ЭНМТ). Кроме того, в связи с переходом РФ с 01.01.2012 на новые критерии живорождения, рекомендованные ВОЗ (срок гестации более 22 недель, масса тела  $\geq 500$  г), количество недоношенных детей будет неуклонно расти [4].

Выхаживание новорожденных, особенно недоношенных детей, послужило стимулом для развития новых направлений в различных областях медицины (нутрициологии, фармакологии, дальнейшее совершенствование офтальмологии, кардиологии, хирургии, сурдологии и т. д.). С другой стороны, наряду с совершенствованием различных направлений неотложной неонатальной помощи активно развиваются мультидисциплинарные службы, направленные на реабилитацию и абилитацию недоношенных детей и их семей.

Особенностями недоношенного ребенка являются: диффузная мышечная гипотония («поза лягушки»), быстрая «истощаемость» рефлексов, низкая мышечная масса, малоподвижность и лабильность температуры тела вследствие относительной пойкилотермности [5]. Однако основные показатели моторного развития новорожденного ребенка имеют существенные временные колебания. Очевидно, что имеет место большое различие между морфологическими и физиологическими показателями нервной системы у детей разного гестационного возраста.

Вследствие этого клиницист должен владеть не только различными методиками неврологического осмотра новорожденных детей [8], [10], но и иметь углубленные знания по эволюционной неврологии.

Развитие технологий выхаживания преждевременно родившихся детей позволяет повышать их выживание и улучшать качество жизни. Однако, несмотря на создание для недоношенного ребенка оптимальных условий выхаживания, полностью ограничить его от воздействия внешних факторов невозможно, и поэтому темпы его развития будут, вероятнее всего, быстрее по сравнению с его сверстниками, находящимися еще в утробе матери. Вследствие этого при постнатальной оценке психомоторного и физического развития ребенка, родившегося преждевременно, обычно учитывается не биологический возраст после рождения, как у доношенных детей, а его постконцептуальный (ПКВ), или постменструальный, возраст, то есть возраст с момента зачатия [7], [10], [11].

Настоящая работа посвящена оценке неврологического статуса недоношенного ребенка на различных сроках постконцептуального развития с позиции онтогенетической адаптации.

Из экспериментальных исследований Н. F. R. Prechtl известно, что двигательная активность является первичной по отношению к другим формам неврологической деятельности плода и младенца [3], [6]. Таким образом, именно клиническая и нейрофизиологическая оценка моторной функции младенца явилась приоритетной в данном исследовании.

Цель работы – исследовать нейромышечный статус недоношенных детей с помощью схем неврологического осмотра недоношенного ребенка: схема качественной и количественной оценки недоношенных детей в соответствии с их ПКВ (Пальчик А. Б., 2008) и новых параметров иЭМГ.

## МЕТОДИКА

В группу недоношенных вошли 10 детей обоего пола низкой степени риска с гестационным возрастом 31/32 недели, средняя масса при рождении составила  $1650 \pm 105$  г, средняя оценка по шкале Апгар – 6/7 баллов. Под низкой степенью риска подразумевается отсутствие серьезных отклонений в соматическом и неврологическом статусе ребенка. Их обследование проводилось в динамике на 2, 4 и 6-й неделе жизни (фактически в 33, 35, 37 недель посконцептуального возраста, то есть количество недель беременности + возраст после рождения в неделях). Группу контроля составили 10 доношенных детей обоего пола, родившихся в срок (38/39 недель гестации) с нормальной оценкой по шкале Апгар (8/9 баллов), средней массой тела  $3430 \pm 90$  г, обследованных также в возрасте 2, 4 и 6 недель после рождения. Общий дизайн исследования представлен на рис. 1.

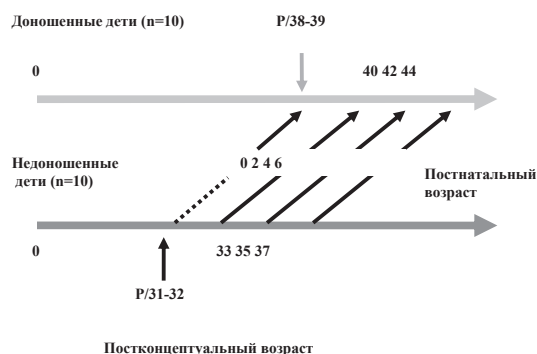


Рис. 1. Общий дизайн исследования и группы обследованных детей: P – срок рождения (гестационный возраст в неделях), черные стрелки указывают соответствие постнатального возраста у доношенных и недоношенных детей; 0 – концепция. Пунктиром обозначен неисследованный возраст у недоношенных детей

Дети обследовались в ГБУЗ «Детская республиканская больница» (Петрозаводск), с информированного согласия мамы ребенка, с разрешения Этического комитета при Минздрава-соцразвития РК.

Для объективизации полученных данных клинический неврологический осмотр проводился с помощью схем неврологического осмотра недоношенного ребенка в 33 и 35 недель ПКВ, предложенных А. Б. Пальчиком в 2008 году [3]. Общая сводная схема включает в себя 40 показателей: рефлексорный ответ на прикосновение, вздрагивание (стартовый-реакция), генерализованные движения (generalized movements), изолированные движения руки и ноги, ретрофлексия голо-

вы, поворот головы, нерегулярные дыхательные движения и т. д. [3]. Оценка детей в 33 недели ПКВ проводилась по 36 показателям, в 35 и 37 недель – по всем 40 показателям (дополнительно проводилась оценка шагового рефлекса, рефлекса опоры, рефлекса Бабинского, асимметричного шейно-тонического рефлекса). Каждому показателю присваивался балл от 0 до 1,0. Интерпретация теста проводилась по сумме баллов: максимальный показатель (100 %) – 35,5 балла в 33 недели ПКВ и 37,5 балла в 35, 37 недель ПКВ, оптимальный показатель ( $> 90\%$ ) –  $\geq 32$  балла в 33 недели и  $\geq 34$  балла в 35, 37 недель ПКВ, нормальный показатель ( $> 75\%$ ) –  $\geq 26,5$  балла в 33 недели и  $\geq 28$  балла в 35, 37 недель ПКВ. Доношенные дети обследовались неврологически по общепринятой в отечественной неонатологической практике схеме [6]. Исследование проводилось стандартизированно с учетом окружающих условий (температурный режим, состояния обследуемого ребенка, времени после кормления).

Для регистрации иЭМГ использовали поверхностные биполярные электроды фирмы «Нейрософт» (Иваново, Россия). Усиление миоэлектрического сигнала проводили с помощью электромиографов Нейро-МВП-4 и Нейро-МВП-Микро (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия). Запись электромиограммы производили последовательно с 4 мышц верхних и нижних конечностей (трехглавой мышцы плеча и двуглавой мышцы плеча справа; икроножной мышцы и передней большеберцовой мышцы слева) на жесткий диск для последующей обработки. Частота опроса аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – 20 КГц, полоса пропускания сигнала – 2–1000 Гц.

С учетом того что в практику электромиографии включаются нелинейные методы обработки сигнала [9], [12], [14], нами использованы традиционные линейные и новые нелинейные методы обработки иЭМГ.

Нелинейный анализ иЭМГ (FRACTAN 4.4 ©) включал в себя измерение таких параметров, как: 1) фрактальная размерность ( $D$ ), 2) корреляционная размерность ( $D_c$ ), 3) корреляционная энтропия ( $K_2$ ).

В линейном анализе иЭМГ использованы средняя амплитуда ( $A$ , мкВ) и средняя частота (MNF, Гц) [2].

Исследование детей проводилось между кормлениями, во время спонтанной двигательной активности и со строгим соблюдением теплового режима. Дети в 33 недели ПКВ обследовались непосредственно в боксе в условиях кувеза (температура воздуха  $32^\circ\text{C}$ , влажность 40 %). Наложение электродов и регистрация спонтанной или вызванной двигательной активности производились через окошки и дверцы инкубатора. Температура тела контролировалась с помощью кожного датчика сервоконтроля.

В 35 и 37 недель гестационного возраста дети обследовались на пеленальном столике на фоне частичного распеленания, при температуре воздуха 24–25 °С и низкой постоянной скорости движения воздуха (0,1 м/с). Доношенные новорожденные дети обследованы в кабинете электрофизиологической диагностики на кушетке после предварительного распеленания или раздевания (1–2-минутная адаптация ребенка в развернутом виде), при температуре воздуха 24–25 °С и постоянной скорости движения воздуха (0,1 м/с).

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 W-критерий (Крускал – Уоллиса) и U-критерий (Манна – Уитни).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая оценка недоношенных детей по схеме неврологического осмотра выявила следующие особенности. В 33 недели ПКВ оптимальный показатель развития ( $\geq 32$  баллов) был у 2 (20 %) детей, нормальный показатель развития ( $\geq 26,5$  балла) – у 8 (80 %) (рис. 2). Очаговая симптоматика не отмечена. Асимметрия мышечного тонуса верхних конечностей отмечена у одного ребенка (10 %), нижних конечностей – у 3 (30 %) детей.

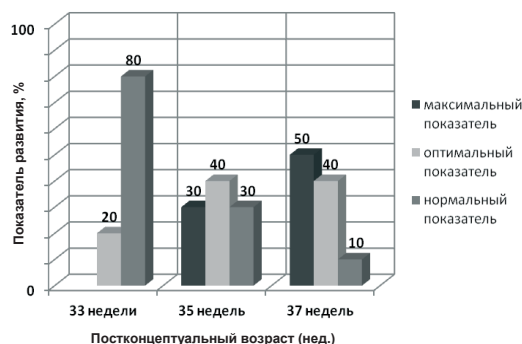


Рис. 2. Показатель неврологического развития у недоношенных детей в 33, 35, 37 недель постконцептуального развития: максимальный показатель – 100 % баллов, оптимальный –  $> 90$  % баллов, нормальный –  $> 75$  % баллов

В 35 недель ПКВ получен максимальный показатель развития у 3 (30 %) детей, оптимальный – у 4 (40 %), нормальный – у 3 (30 %) новорожденных (рис. 2). Очаговая симптоматика отсутствовала. Асимметрия мышечного тонуса в ногах была выявлена у одного ребенка (10 %).

В 37 недель ПКВ максимальный показатель развития был у 5 (50 %) детей, оптимальный – у 4 (40 %), нормальный – у одного (10 %) ребенка (рис. 2). Очаговая симптоматика отсутствовала. Асимметрия мышечного тонуса в ногах была выявлена у одного ребенка (10 %).

Неврологический статус в группе контроля не выявил существенных особенностей в динамике. Необходимо отметить, что в возрасте 2 не-

дель у 3 детей (30 %) была отмечена асимметрия мышечного тонуса верхних конечностей, в 4 недели – у 2 (20 %).

Полученные клинические данные у недоношенных детей свидетельствуют об улучшении показателей неврологического развития по мере созревания ребенка. Подобная онтогенетическая динамика очевидна именно у недоношенных детей по сравнению со своими доношенными сверстниками, что свидетельствует о большей уязвимости данной категории детей и потребности в максимально адаптированных к материнской утробе условиях выхаживания постнатально.

Результаты поверхностной ЭМГ были следующими.

У недоношенных детей в возрасте 33 недель фрактальная размерность ( $D$ ) иЭМГ варьировала от 1,5 до 1,64, корреляционная размерность ( $D_c$ ) и корреляционная энтропия ( $K_2$ ) – от 4,0 до 5,0 в мышцах как верхних, так и нижних конечностей (табл. 1). Эти значения были достоверно меньше по сравнению с аналогичными параметрами у доношенных детей, у которых  $D$  была в пределах от 1,74 до 1,85, а  $D_c$  и  $K_2$  достигали значений от 6,4 до 9,9.

Средняя частота спектра иЭМГ составила у 2-недельных недоношенных детей от 166 до 185 Гц, а максимальная средняя амплитуда – от 130 до 173 мкВ (табл. 2). У здоровых доношенных новорожденных данные показатели были значительно выше: от 184 до 238 Гц и от 181 до 230 мкВ (табл. 2).

У недоношенных детей в течение всех 4 недель обследования нелинейные параметры характеризовались медленным увеличением к 37-й неделе гестационного возраста (то есть к 6-й неделе жизни) (табл. 1). У доношенных детей подобной динамики не наблюдалось и значения всех нелинейных параметров оставались высокими на протяжении всего периода обследования (табл. 1).

У недоношенных детей в течение первых 6 недель жизни амплитуда и частота иЭМГ практически не изменялись, за исключением средней максимальной амплитуды в *m. triceps brachii dextra*, для которой было характерно повышение до 160–300 мкВ (табл. 2).

В нашем исследовании более низкие значения всех нелинейных параметров, которые были отмечены для недоношенных детей, характеризуют их электромиографический сигнал как «менее сложный», «более регулярный» и «более предсказуемый». Это означает, что сигнал иЭМГ генерируется меньшим количеством уравнений, то есть меньшим количеством нейронных ансамблей [5]. Вследствие недостаточной интерференции меньшего количества генераторов на иЭМГ возникают ритмы (кластеризация иЭМГ), которые визуальнo не всегда заметны. Появление этих ритмов и приводит к упрощению иЭМГ и ее большей предсказуемости.

Таблица 1

Показатели корреляционной размерности ( $D_c$ ), корреляционной энтропии ( $K_2$ ) и фрактальной размерности ( $D$ ) в зависимости от гестационного и постнатального возраста в разных мышцах новорожденного ребенка

Мышца	Недоношенные дети, постконцептуальный возраст (нед.)			Доношенные дети, постнатальный возраст (нед.)		
	33	35	37	2	4	6
Корреляционная размерность ( $D_c$ )						
m. triceps br.	4,86 ± 0,51	5,12 ± 0,28	5,3 ± 0,28*	6,45 ± 2,52	7,46 ± 2,12*	6,42 ± 1,4
m. biceps br.	4,42 ± 0,37	5,26 ± 0,56	5,27 ± 0,33*	7,63 ± 1,82***	7,08 ± 1,13**	6,26 ± 2,16**
m. gastrocnemius	5,09 ± 0,75	4,67 ± 0,18	4,84 ± 0,23	7,52 ± 0,64	7,51 ± 2,96***	8,37 ± 1,34*
m. tibialis ant.	4,96 ± 0,33	5,08 ± 0,33	4,93 ± 0,33*	7,41 ± 1,86	7,03 ± 0,45***	7,4 ± 0,61*
Корреляционная энтропия ( $K_2$ )						
m. triceps br.	4,35 ± 0,21	4,26 ± 0,14	4,19 ± 0,27	9,96 ± 1,04***	9,49 ± 0,55	9,12 ± 0,19*
m. biceps br.	4,77 ± 0,33	4,5 ± 0,05	4,78 ± 1,00	9,81 ± 1,02***	7,01 ± 0,96	7,47 ± 1,65
m. gastrocnemius	4,46 ± 0,16	4,82 ± 0,65*	4,71 ± 0,49*	9,99 ± 1,71***	9,03 ± 0,73***	9,67 ± 0,38**
m. tibialis ant.	4,21 ± 0,57	3,85 ± 0,3	3,87 ± 0,33	9,37 ± 1,82**	9,22 ± 0,61**	9,01 ± 1,58**
Фрактальная размерность ( $D$ )						
m. triceps br.	1,59 ± 0,51	1,54 ± 0,09	1,66 ± 0,08	1,85 ± 0,1	1,74 ± 0,09	1,81 ± 0,14*
m. biceps br.	1,64 ± 0,09	1,62 ± 0,09	1,63 ± 0,09	1,74 ± 0,05***	1,79 ± 0,03	1,80 ± 0,04*
m. gastrocnemius	1,49 ± 0,07	1,49 ± 0,07	1,56 ± 0,07***	1,74 ± 0,11***	1,81 ± 0,07***	1,78 ± 0,07*
m. tibialis ant.	1,49 ± 0,05	1,51 ± 0,06	1,87 ± 1,09	1,81 ± 0,16***	1,79 ± 0,03	1,72 ± 0,15

Примечание. \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$ , \*\*\* –  $p < 0,001$  при сравнении детей с 33 неделями гестационного возраста с детьми 35, 37 недель постменструального возраста и 2, 4, 6-недельными доношенными детьми.

Таблица 2

Средняя частота спектра и средняя максимальная амплитуда (мкВ) и ЭМГ в зависимости от постнатального возраста в разных мышцах ребенка в первые 6 недель жизни ( $M \pm SD$ , недели)

Мышца	Недоношенные дети (нед.)			Доношенные дети (нед.)		
	2	4	6	2	4	6
Средняя частота спектра						
m. biceps br.	166,35 ± 32,68	180,63 ± 45,03	163,88 ± 29,63	218,4 ± 90,99	177,08 ± 48,03	202,57 ± 73,71
m. triceps br.	185,35 ± 27,29	179,74 ± 34,54#	153,8 ± 41,4#	226,02 ± 48,47**	211,24 ± 78,05###	265,84 ± 73,71###
m. gastrocnem.	182,32 ± 21,05	188,39 ± 48,46	183,87 ± 45,82	237,55 ± 39,99	217,43 ± 28,32***	261,21 ± 71,78***#
m. tibialis ant.	171,12 ± 31,19	163,46 ± 47,15	150,41 ± 25,27#	184,39 ± 50,14***	195,78 ± 36,51	262,9 ± 124,9***
Средняя максимальная амплитуда, мкВ						
m. biceps br.	153,67 ± 53,1	162,0 ± 49,0	144,67 ± 11,9	180,75 ± 22,49***	205,0 ± 23,4***	195,25 ± 43,51
m. triceps br.	146,67 ± 30	169,93 ± 18,0	233,0 ± 76,13#	187,75 ± 35,4***	315,67 ± 131,4**	213,75 ± 51,6***
m. gastrocnem.	129,67 ± 29,57	133,33 ± 4,04	134,0 ± 9,0	190,5 ± 42,1***	216,0 ± 80,85	157,75 ± 16,8***###
m. tibialis ant.	173,0 ± 96,17	179,33 ± 48,0	176 ± 19,69	230,5 ± 69,59**	220,33 ± 74,07***	226,0 ± 41,53***

Примечание. \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$ , \*\*\* –  $p < 0,001$  при межгрупповом сравнении с детьми 2 недель жизни; # –  $p < 0,05$ , ## –  $p < 0,01$ , ### –  $p < 0,001$  при внутригрупповом сравнении с детьми 2 недель жизни.



На протяжении 6-недельного постнатального периода иЭМГ недоношенного ребенка имеет сходство с таковой доношенного новорожденного первых дней жизни и характеризуется «упрощенной» временной структурой и низкой амплитудой и частотой спектра. В отличие от доношенного новорожденного, у недоношенного ребенка динамика параметров иЭМГ замедлена. С точки зрения динамики систем это может быть следствием меньшего по сравнению со «сложным» сигналом количества нервных центров или уровней, участвующих в генерации сигнала, а также снижения количества связей между центрами (индекса кластеризации) [13]. Известно, что при увеличении числа генераторов их работа в основном асинхронна, и как следствие этого – система производит более сложный сигнал. Таким образом, у недоношенных детей начиная с 2-недельного возраста, вероятно, меньше связей между элементами нервной системы на уровнях ЦНС и большая синхронизация активности двигательных единиц.

Значения всех нелинейных параметров в группе контроля (доношенные дети) достаточно большие уже к концу 2-й недели ( $D \approx 1,80$ ,  $D_c$  и  $K_2 \sim 6,0-9,0$ ) и далее практически не изменяются. Это свидетельствует о том, что у 2-недельного доношенного ребенка формируется иЭМГ, уже вполне «зрелая» с точки зрения временной организации нейронного генератора, сопоставимая с иЭМГ взрослого человека.

Мы предполагаем, что резкое увеличение значений нелинейных параметров иЭМГ у доношенных детей в течение первых 2 недель после рождения является следствием перехода из внутриутробной во внеутробную среду. Основ-

ными факторами новой среды являются резкое исчезновение иммерсии, которая, как показано, может являться аналогом микрогравитации [1], и более низкая температура.

Очевидно, что из-за более короткого пребывания во внутриутробном состоянии двигательная система недоношенного ребенка менее зрелая и подготовленная к внеутробной жизни. Поэтому названные выше новые факторы среды для недоношенных детей являются даже более агрессивными. Это свидетельствует о том, что при работе с недоношенными детьми нужно особое внимание уделять именно вопросам выхаживания.

Полученные нами данные могут быть использованы для прогнозирования состояния двигательной системы недоношенного ребенка в будущем, в том числе в отдаленном (через несколько лет), как это делается по методу Prechtle с помощью видеомониторинга движений [3].

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе апробирована схема неврологического осмотра недоношенного ребенка с разным ПКВ (А. Б. Пальчик, 2008). Полученные клинические данные позволили качественно и количественно оценить психомоторный статус обследуемых детей. Результаты ЭМГ исследования нейромышечного статуса свидетельствуют о чувствительности метода у детей различного гестационного возраста и позволяют объективизировать и дополнить данные клинического осмотра.

Нам представляется перспективным обследовать детей с еще меньшей массой тела при рождении, а также в течение двух недель после рождения.

\* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития (ПСР) ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейгал А. Ю. Онтогенетическая модель гравитации и невесомости: теоретические и практические аспекты // Физиология человека. 2011. Т. 37. № 6. С. 130–138.
2. Меклер А. А. Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14. № 1. С. 73.
3. Пальчик А. Б., Федорова Л. А., Понятишин А. Е. Неврология недоношенных детей. М.: МЕДпресс-информ, 2010. 352 с.
4. Приказ Минздравсоцразвития России № 1687н от 27 декабря 2011 г.
5. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 254 с.
6. Шабалов Н. П. Неонатология. Т. II. СПб.: Специальная литература, 2004. 608 с.
7. Bollard J. L., Kazmaier K., Driver M. A. A simplified assessment of gestational age // *Pediatr. Res.* 1977. Vol. 11. P. 374.
8. Dubowitz L. M. S., Dubowitz V., Mercuri E. The neurological assessment of the pre-term and full-term infant. *Clinics in Developmental Medicine*, № 148. London: MacKeith Press, 1999. 155 p.
9. Farina D., Merletti R., Enoka R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG // *J. Appl. Physiol.* 2003. Vol. 96. P. 1486–1495.
10. Gosselin J., Amiel-Tison C. Évaluation neurologique de la naissance à 6 ans. Presses de l'Hôpital Sainte-Justine. Montréal; Paris: Masson, 2007.
11. Grenier A. La motricité libérée du nouveau-né. Paris: Médecine et enfance, 2000.
12. Meigal A., Rissanen S., Tarvainen M. et al. Linear and nonlinear tremor acceleration characteristics in patients with Parkinson's disease // *Physiol. Measur.* 2012. Vol. 33. P. 395–412.
13. Stam C. J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field // *Clinical Neurophysiology*. 2005. Vol. 116. P. 226–2301.
14. 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. Vol. 44. P. 599–610.