

СКВОЗНАЯ СВЁРТОЧНАЯ НЕЙРОНАЛЬНАЯ СЕТЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ЛИЦЕВЫХ ДЕСКРИПТОВ (N-CNN) В ДИАГНОСТИКЕ ВНУТРИУТРОБНОГО ДИСТРЕССА

Коротаева Н.В.^{1,2},
Ипполитова Л.И.¹,
Першина Е.С.^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России (394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10, Россия)

² БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая больница № 1» (394066, г. Воронеж, Московский просп., 1516, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Коротаева Наталья Владимировна,
e-mail: korotaeva.nv@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Существующие методы исследования внутриутробного дистресса, несмотря на свою распространённость, всё ещё имеют недостатки, поэтому изучение и оценка движений плода во время проведения ультразвуковой диагностики могут стать удобным и доступным дополнительным инструментом для диагностики данного патологического состояния.

Цель исследования. Оценка распространённости и диагностической значимости известной совокупности лицевых движений плода для своевременного определения внутриутробного дистресса.

Методы. В настоящее проспективное одноцентровое исследование были включены 225 плодов с гестационным возрастом от 32 до 40 недель. В качестве критериев соответствия внутриутробного дистресса использовалась таблица FIGO. Оценка лицевых движений у всех плодов проводилась с помощью методики BabyFACS, где для оценки использовалась двигательная единица (AU, action unit), кодировка которой проводится в строгом соответствии с таблицей двигательных дескрипторов (ДД). Статистическая обработка данных проводилась с использованием SPSS Statistics 20 (IBM Corp., США). В качестве основного статистического параметра был использован критерий Манна – Уитни, где для интерпретации значения *p*-тестов выбран пороговый уровень 0,05.

Результаты. Несмотря на встречаемость AU1, AU2, AU3, AU4 в обеих группах, данные ДД регистрировались в группе с подтверждённым дистрессом ($p = 0,00001$). Такие лицевые единицы, как AU9 и AU20, встречались только у детей с внутриутробным дистрессом, что в общей сумме оценки ДД можно считать одними из главных поисковых знаков, на которые в первую очередь следует обратить внимание специалистам. Все двигательные дескрипторы показали высокую прогностическую ценность положительного результата и диагностическую чувствительность, где самые высокие результаты зарегистрированы для AU9 и AU20.

Заключение. Оценка лицевых единиц при проведении ультразвуковой диагностики может быть удобным инструментом в качестве дополнительной диагностики развития внутриутробного дистресса и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, неонатология, двигательные дескрипторы, лицевые движения, внутриутробный дистресс, плоды

Статья поступила: 06.12.2022
Статья принята: 04.08.2023
Статья опубликована: 28.09.2023

Для цитирования: Коротаева Н.В., Ипполитова Л.И., Першина Е.С. Сквозная свёрточная нейронная сеть для автоматического кодирования лицевых дескриптов (N-CNN) в диагностике внутриутробного дистресса. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(4): 32-38. doi: 10.29413/ABS.2023-8.4.4

END-TO-END CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR AUTOMATIC ENCODING FACIAL DESCRIPTOR (N-CNN) IN THE DIAGNOSIS OF INTRAUTERINE DISTRESS

Korotaeva N.V.^{1,2},
Ippolitova L.I.¹,
Perschina E.S.^{1,2}

¹ Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko (Studencheskaya str. 10, Voronezh 394036, Russian Federation)

² Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1 (Moskovsky ave. 151, Voronezh 394066, Russian Federation)

Corresponding author:
Natalia V. Korotaeva,
e-mail: korotaeva.nv@mail.ru

ABSTRACT

Background. Existing methods for studying intrauterine distress, despite their prevalence, still have their limitations, so studying and assessment of fetal movements during ultrasound diagnostics can become a convenient and affordable additional tool for diagnosing this pathological condition.

The aim of the study. To assess the prevalence and diagnostic significance of a known set of fetal facial movements for the timely determination of intrauterine distress.

Methods. This prospective single-center study included 225 fetuses of a gestational age from 32 to 40 weeks. The FIGO chart was used as fitting criteria of intrauterine distress. The assessment of facial movements in all fetuses was carried out using the BabyFACS technique, where the action unit (AU) used for the assessment; its coding is carried out in strict accordance with the chart of motor descriptors (MD). Statistical data processing was carried out using SPSS Statistics 20 (IBM Corp., USA). The Mann – Whitney test was used as the main statistical parameter, where a threshold level of 0.05 was chosen to interpret the p-tests value.

Results. Despite the occurrence of AU1, AU2, AU3, AU4 in both groups, these MDs were recorded in the group with confirmed distress ($p = 0.00001$). Facial units such as AU9 and AU20 were found only in children with intrauterine distress, which, in the total amount of the MD assessment, can be considered one of the main search signs that specialists should first of all pay attention to. All motor descriptors showed high positive predictive value and diagnostic sensitivity, with the highest results registered for AU9 and AU20.

Conclusion. Assessment of facial units during ultrasound diagnostics can be a convenient tool as an additional diagnosis of the development of intrauterine distress and requires further study.

Key words: ultrasound diagnostics, neonatology, motor descriptors, facial movements, intrauterine distress, fetuses

Received: 06.12.2022
Accepted: 04.08.2023
Published: 28.09.2023

For citation: Korotaeva N.V., Ippolitova L.I., Perschina E.S. End-to-end convolutional neural network for automatic encoding facial descriptor (N-CNN) in the diagnosis of intrauterine distress. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(4): 32-38. doi: 10.29413/ABS.2023-8.4.4

ОБОСНОВАНИЕ

На сегодняшний день в многочисленных исследованиях мы можем видеть, как растёт интерес научного сообщества к пониманию индивидуальных поведенческих реакций, в основе которых лежит оценка мимики, движения тела и головы или звуковых сигналов [1–4].

Выражение лица может дать представление об эмоциональном состоянии человека, а автоматический анализ выражения лица является предметом обширных исследований [5], однако данный метод невозможно в целом использовать как в неонатологии, так и в перинатологии по нескольким веским причинам. Во-первых, мимика младенцев и плодов включает в себя дополнительные важные единицы, которых нет в стандартной системе кодирования [6]. Во-вторых, такие различные индивидуальные параметры, как гестационный возраст, значимо влияют на черты лица в связи с развитием центральной нервной системы [6]. В-третьих, этап обработки в случае с новорождёнными или плодами является более сложным и требует применения уже имеющегося опыта, так как две данные группы не позволяют установить коммуникативный контакт.

Имея некоторый собственный опыт [7, 8] оценки лицевых движений как у младенцев, так и у плодов с различным гестационным возрастом, мы решили рассмотреть перспективы оценки лицевых движений во время проведения ультразвукового (УЗ) исследования в качестве возможного предиктора дистресса плода до момента проведения кардиотокографии (КТГ).

Дистресс плода представляет собой синдром недостаточности дыхания и кровообращения, вызванный внутриутробной гипоксией плода и тесно связанный с изменением сигналов сердечного ритма плода [9]. Раннее выявление и возможная диагностика риска развития данного состояния могут помочь предотвратить повреждение жизненно важных органов; именно поэтому так важно усилить мониторинг внутриутробного состояния плода во время беременности, чтобы обеспечить безопасность как плода, так и беременной женщины.

Наиболее распространённым методом наблюдения за состоянием плода в клинической практике является КТГ-мониторинг [10], где получаемый сигнал состоит из кривой частоты сердечных сокращений (ЧСС) и кривой сокращения матки. КТГ-мониторинг, несомненно, помогает врачам вовремя диагностировать данное патологическое состояние, чтобы принять эффективные лечебные меры для защиты здоровья плода; кроме того, данный метод исследования является абсолютно безопасным и безболезненным. На данный момент КТГ плода при отсутствии у женщины каких-либо нарушений проводится с 32-й недели около 2 раз в месяц, в то время как между данными исследованиями женщины нередко выполняют и УЗ-исследование, при котором современные технологии позволяют в режиме реального времени наблюдать за мимикой и лицевыми движениями, которые демонстрирует плод [11, 12].

Таким образом, исследование лицевых движений плода и их последовательности на моменте планового проведения УЗ-диагностики сможет в будущем стать

удобным и доступным дополнительным инструментом, помогающим выявить предикторы развития дистресса плода ещё до момента проведения КТГ.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка распространённости и диагностической значимости известной совокупности лицевых движений плода для своевременного определения внутриутробного дистресса.

МЕТОДЫ

В настоящее проспективное одноцентровое исследование были включены 225 плодов с гестационным возрастом от 32 до 40 недель, матери которых проходили обследование и стационарное лечение на базе Перинатального центра БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая больница № 1» с 2017 по 2021 г. Все исследуемые были разделены на две группы: I группа ($n = 125$) – плоды с подтверждённым с помощью КТГ диагнозом «внутриутробный дистресс»; II группа ($n = 100$) – плоды, не имеющие подтверждённого по результатам КТГ диагноза «внутриутробный дистресс» (контрольная группа). Критерии включения в исследование: согласие законных представителей на участие в исследовании; регулярные акушерские осмотры во время беременности; проведение представленного комплекса инструментальных исследований на базе Перинатального центра; полнота и точность записей клинического наблюдения и результатов инструментальных исследований; отсутствие у плодов тяжёлых челюстно-лицевых аномалий, препятствующих визуальной оценке лицевых движений. В качестве критериев соответствия внутриутробного дистресса использовалась таблица FIGO, которая входит в клинические рекомендации Российского общества акушеров-гинекологов (РОАГ) 2022 г., где для подтверждения необходимо наличие как минимум одного критерия из перечисленных: базальная ЧСС менее 100 или более 170 уд./мин; вариабельность менее 5 уд./мин за 40 минут или синусоидальный ритм; отсутствие акцелерации; вариабельные или поздние децелерации. Подтверждение дистресса плода также обязательно проводилось после рождения, когда в качестве критериев диагностики рассматривались: оценка по шкале Апгар < 7 баллов через 5 мин после рождения; оценка кислотно-основного состояния пуповинной крови ($pH < 7,00$ и дефицит оснований ≥ 12 ммоль/л). Оценка лицевых движений у всех плодов проводилась с помощью методики BabyFACS, где в качестве оценки выступала двигательная единица (AU, action unit), кодировка которой проводится в строгом соответствии с таблицей двигательных дескрипторов (ДД): AU1 – подъём внутренней части брови; AU2 – подъём внешней части брови; AU3 – сближение внутренних углов бровей; AU4 – опускание брови; AU9 – сморщивание носа; AU12 – поднятие угла губ; AU14 – появление ямочки на щеках; AU18 – сморщивание губ; AU20 – растяжение губ; AU25 – разведение губ;

AU28 – втягивание губ. Визуализация двигательных единиц проводилась с помощью аппарата УЗ-диагностики экспертного класса врачом-специалистом с обязательной фиксацией фото- и видеоматериалов для последующей оценки и создания базы данных. Оценка двигательных единиц проводилась сертифицированным специалистом, который прошёл обучение и имеет подтверждающий сертификат FACS (Facial Action Coding System). Статистическая обработка данных проводилась с использованием SPSS Statistics 20 (IMB Corp., США), размер выборки для данного исследования предварительно не рассчитывался. В качестве основного исхода исследования было выбрано определение распространённости лицевых единиц и их диагностической значимости при подтверждённом внутриутробном дистрессе, в качестве дополнительных исходов исследований – составление сводных таблиц для каждой из переменных лицевых единиц с целью определения чувствительности, специфичности и прогностической ценности. В качестве основного статистического параметра был использован критерий Манна – Уитни; для интерпретации значения *p*-тестов выбран пороговый уровень 0,05. Данное исследование проводилось с письменного разрешения администрации медицинской организации и с согласования локального этического комитета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России (протокол № 1 от 28.03.2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При оценке распространённости критериев соответствия внутриутробного дистресса по таблице FIGO можно отметить, что преобладающими критериями по данным КТГ являются монотонность ритма и переменные

децелерации, которые регистрировались в 100 % случаев; распространённость других критериев соответствия с исследуемой группой представлена в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ КРИТЕРИЕВ
ВНУТРИУТРОБНОГО ДИСТРЕССА, СОГЛАСНО ТАБЛИЦЕ
FIGO, В I ИССЛЕДУЕМОЙ ГРУППЕ ДЕТЕЙ

TABLE 1
PREVALENCE OF INTRAUTERINE DISTRESS CRITERIA
ACCORDING TO THE FIGO CHART IN STUDY GROUP I

Анализируемые критерии	Процент встречаемости критерия, %
БЧСС = 110–170 уд./мин	1,6
БЧСС > 170 уд./мин	31,2
БЧСС < 100 уд./мин	67,2
Вариабельный монотонный ритм	100
Децелерации ранние > 50	36,0
Децелерации поздние > 30	64,0
Децелерации переменные > 50	100

Примечание. БЧСС – базальная частота сердечных сокращений.

При оценке частоты встречаемости лицевых движений (ДД) в каждой из исследуемых групп было выявлено, какие из ДД статистически значимо чаще встречаются в группе с диагностированным внутриутробным дистрессом в сравнении с контрольной группой (табл. 2).

Учитывая, что постановка внутриутробного дистресса требует подтверждения с помощью КТГ, нами были оце-

ТАБЛИЦА 2
ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ
ДЕСКРИПТОРОВ В КАЖДОЙ ИЗ ИССЛЕДУЕМЫХ ГРУПП

TABLE 2
FREQUENCY OF OCCURRENCE OF MOTOR DESCRIPTORS
IN EACH OF THE STUDIED GROUPS

Двигательные дескрипторы	Частота встречаемости ДД в I группе (n = 125), %	Частота встречаемости ДД во II группе (n = 100), %	<i>p</i>
AU1	92	5	<i>p</i> = 0,00001
AU2	95,2	13	<i>p</i> = 0,00001
AU3	94,4	13	<i>p</i> = 0,00001
AU4	91,1	8	<i>p</i> = 0,00001
AU9	92,8	0	<i>p</i> = 0,00001
AU12	4,8	75	<i>p</i> = 0,00001
AU14	4	68	<i>p</i> = 0,00001
AU18	4	49	<i>p</i> = 0,00001
AU20	92	0	<i>p</i> = 0,00001
AU25	4	49	<i>p</i> = 0,00001
AU28	4	65	<i>p</i> = 0,00001

нены диагностические чувствительность и специфичность, прогностическая ценность положительного результата и диагностическая эффективность ДД, которые статистически значимо чаще регистрировались в группе с внутриутробным дистрессом, для каждого из критериев данного патологического состояния по таблице FIGO

(табл. 3–6). Согласно проведённому анализу, наибольшую диагностическую чувствительность из всех возможных ДД продемонстрировали AU9, AU20 и AU1.

Для оценки совместного влияния всех исследуемых параметров составлен суммарный показатель тяжести состояния, полученный суммированием пропорцио-

ТАБЛИЦА 3

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ПРИ БАЗАЛЬНОЙ ЧАСТОТЕ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ < 100 УД./МИН ИЛИ > 170 УД./МИН ПО ДАННЫМ КАРДИОТОКОГРАФИИ

Показатели	AU1	AU2	AU3	AU4	AU9	AU20
Диагностическая чувствительность	94,16 %	89,39 %	88,54 %	91,73 %	98,27 %	100 %
Диагностическая специфичность	90,47 %	94,62 %	92,55 %	89,32 %	91,74 %	92,72 %
Прогностическая ценность положительного результата	91,86 %	95,93 %	94,30 %	90,98 %	92,68 %	93,49 %
Диагностическая эффективность теста	92,44 %	91,55 %	90,22 %	90,62 %	95,11 %	96,44 %

TABLE 3

DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE OF MOTOR DESCRIPTORS AT BASAL HEART RATE < 100 BPM OR > 170 BPM ACCORDING TO CARDIOTOCOGRAPHY

ТАБЛИЦА 4

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ПРИ РАННИХ ДЕЦЕЛЕРАЦИЯХ > 50 ПО ДАННЫМ КАРДИОТОКОГРАФИИ

Показатели	AU1	AU2	AU3	AU4	AU9	AU20
Диагностическая чувствительность	36,66 %	32,57 %	30,53 %	31,40 %	62,93 %	36,52 %
Диагностическая специфичность	99,04 %	97,84 %	94,68 %	94,17 %	98,16 %	97,27 %
Прогностическая ценность положительного результата	97,77 %	95,55 %	88,88 %	86,36 %	97,33 %	93,33 %
Диагностическая эффективность теста	65,77 %	59,55 %	57,33 %	60,26 %	80 %	66,22 %

TABLE 4

DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE OF MOTOR DESCRIPTORS IN EARLY DECELERATIONS > 50 ACCORDING TO CARDIOTOCOGRAPHY

ТАБЛИЦА 5

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ПРИ ПОЗДНИХ ДЕЦЕЛЕРАЦИЯХ > 30 ПО ДАННЫМ КАРДИОТОКОГРАФИИ

Показатели	AU1	AU2	AU3	AU4	AU9	AU20
Диагностическая чувствительность	62,5 %	60,60 %	62,59 %	64,46 %	66,37 %	66,95 %
Диагностическая специфичность	91,42 %	95,69 %	97,87 %	94,17 %	93,57 %	93,63 %
Прогностическая ценность положительного результата	89,28 %	95,23 %	97,61 %	92,85 %	91,66 %	91,66 %
Диагностическая эффективность теста	76 %	75,11 %	77,33 %	78,12 %	79,55 %	80 %

TABLE 5

DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE OF MOTOR DESCRIPTORS IN LATE DECELERATIONS > 30 ACCORDING TO CARDIOTOCOGRAPHY

ТАБЛИЦА 6

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ПРИ ВАРИАБЕЛЬНЫХ ДЕЦЕЛЕРАЦИЯХ > 50 ПО ДАННЫМ КАРДИОТОКОГРАФИИ

Показатели	AU1	AU2	AU3	AU4	AU9	AU20
Диагностическая чувствительность	95,83 %	90,15 %	90,07 %	93,38 %	100 %	100 %
Диагностическая специфичность	90,47 %	93,54 %	92,55 %	89,32 %	91,74 %	90,90 %
Прогностическая ценность положительного результата	92 %	95,19 %	94,39 %	91,12 %	92,80 %	92 %
Диагностическая эффективность теста	93,33 %	91,55 %	91,11 %	91,51 %	96 %	95,55 %

TABLE 6

DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE OF MOTOR DESCRIPTORS FOR VARIABLE DECELERATIONS > 50 ACCORDING TO CARDIOTOCOGRAPHY

ТАБЛИЦА 7
ОЦЕНКА СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ВСЕХ ИССЛЕДУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЯЖЕСТЬ СОСТОЯНИЯ

TABLE 7
ASSESSMENT OF THE JOINT EFFECT OF ALL THE STUDIED PARAMETERS ON THE CONDITION SEVERITY

Группы	Means	95% ДИ		Стандартное отклонение	Min	Max	Q25	Median	Q75
I группа	0,38	0,36	0,40	0,10	0,07	0,47	0,33	0,33	0,47
II группа	0,20	0,19	0,20	0,02	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20

Примечание. 95% ДИ – 95%-й доверительный интервал; Q25 – 25-й процентиль; Q75 – 75-й процентиль.

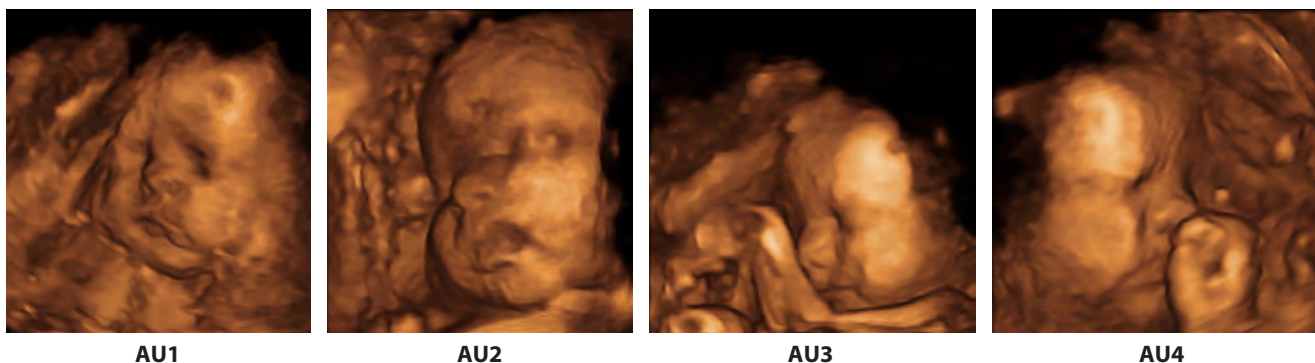


РИС. 1.
Пример ультразвуковой визуализации двигательных дескрипторов, статистически значимо чаще встречающихся при дистрессе плода

FIG. 1.
An example of ultrasound imaging of motor descriptors, which are significantly more common in fetal distress

нально взвешенного пересечения порогового значения: в контрольной группе среднее значение составляет $0,2 \pm 0,02$, в I группе – $0,38 \pm 0,10$ (табл. 7).

ОБСУЖДЕНИЕ

Хотя достижения в области пренатальной медицины позволяют проводить лечение уже внутриутробно, вопрос о том, можем ли мы идентифицировать выражение лица в целом и, в частности, выражение «страдания» у плода, приобретает всё большее значение. Несмотря на то, что переживание боли и дистресса субъективно и влечёт за собой психологический компонент, анатомическое и функциональное развитие обязательно связано с восприятием раздражителя [9, 10].

Мимические «тревожные» движения являются важными компонентами развития выраженности дистресса у плодов. В одном из существующих исследований система неонатального лицевого кодирования использовались для подробного описания лицевой активности недоношенных детей с 24 до 36 недель беременности во время проведения болезненных процедур [11].

В нашем предыдущем исследовании были диагностированы лицевые движения и их комбинации, которые были оценены нами как фундаментальные комбинации действий на лице плода во время подтвержденного дистресса [12]. В основе же данного исследования нам было необходимо с помощью математических статистических моделей доказать, что перечисленные лицевые движения статистически значимо чаще встречаются у плодов с подтвержденным дистрессом, тем самым являясь ранними предикторами данного состояния.

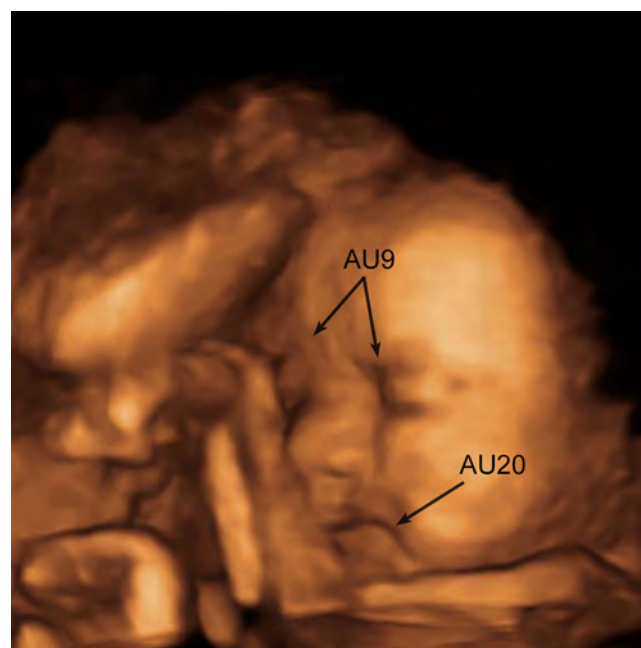


РИС. 2.
Пример ультразвуковой визуализации двигательных дескрипторов AU9 и AU20, показавших наиболее высокие прогностическую ценность и диагностическую чувствительность

FIG. 2.
An example of ultrasound imaging of motor descriptors AU9 and AU20, which showed the highest prognostic value and diagnostic sensitivity

При оценке частоты встречаемости двигательных дескрипторов было выявлено, что, несмотря на встречае-

мость AU1, AU2, AU3, AU4 (рис. 1) в обеих группах, статистически значимо чаще данные ДД регистрировались в группе с подтверждённым дистрессом ($p = 0,00001$). Такие лицевые единицы, как AU9 и AU20, встречались только у детей с внутриутробным дистрессом, что в общей сумме оценки ДД можно считать одними из главных поисковых знаков, на которые в первую очередь следует обратить внимание специалистам. Все двигательные дескрипторы показали высокую прогностическую ценность положительного результата и диагностическую чувствительность – самые высокие результаты показали AU9 и AU20 (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка лицевых единиц при проведении УЗ-диагностики может быть удобным инструментом в качестве дополнительной диагностики развития внутриутробного дистресса и требует дальнейшего изучения.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Bartlett MS, Littlewort GC, Frank MG, Lee K. Automatic decoding of facial movements reveals deceptive pain expressions. *Curr Biol*. 2014; 24: 738-743. doi: 10.1016/j.cub.2014.02.009
2. Zhu S. Pain expression recognition based on pLSA model. *Sci World J*. 2014; 2014: 736106. doi: 10.1155/2014/736106
3. Paraschiv-Ionescu A, Buchser EE, Rutschmann B, Najafi B, Aminian K. Ambulatory system for the quantitative and qualitative analysis of gait and posture in chronic pain patients treated with spinal cord stimulation. *Gait Posture*. 2004; 20: 113-125. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.07.005
4. El Ayadi M, Kamel MS, Karray F. Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases. *Pattern Recognit*. 2011; 44: 572-587.

5. Sariyanidi E, Gunes H, Cavallaro A. Automatic analysis of facial affect: A survey of registration, representation, and recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2015; 37: 1113-1133. doi: 10.1109/TPAMI.2014.2366127

6. Peters JW, Koot HM, Grunau RE, de Boer J, van Druenen MJ, Tibboel D, et al. Neonatal facial coding system for assessing post-operative pain in infants: Item reduction is valid and feasible. *Clin J Pain*. 2003; 19: 353-363. doi: 10.1097/00002508-200311000-00003

7. Коротаева Н.В., Ипполитова Л.И., Першина Е.С. Выявление и идентификация лицевых сигналов новорожденных детей различного гестационного возраста для оценки эмоционального статуса младенцев. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2020; 99(1): 40-44. [Korotaeva NV, Ippolitova LI, Pershina ES. Detection and identification of facial signals of newborns of different gestational age to assess infants' emotional status. *Pediatrics n. a. G.N. Speransky*. 2020; 99(1): 40-44. (In Russ.)].

8. Коротаева Н.В., Ипполитова Л.И., Федотова Т.В., Чибисова Н.А., Першина Е.С. Минимальные лицевые движения плода как один из критериев диагностики внутриутробного дистресса. *Неонатология: новости, мнения, обучение*. 2020; 8(2): 7-12. [Korotaeva NV, Ippolitova LI, Fedotova TV, Chibisova NA, Pershina ES. Minimal facial movements of the fetus as one of the diagnostic criteria intrauterine distress. *Neonatology*. 2020; 8(2): 7-12. (In Russ.)]. doi: 10.33029/2308-2402-2020-8-2-7-12

9. Spairani E, Daniele B, Signorini MG, Magenes G. A deep learning mixed-data type approach for the classification of FHR signals. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022; 10: 887549. doi: 10.3389/fbioe.2022.887549

10. Comert Z, Yang Z, Velappan S, Boopathi AM, Kocamaz AF. Performance evaluation of empirical mode decomposition and discrete wavelet transform for computerized hypoxia detection and prediction. *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (Izmir, Turkey, 02-05 May 2018)*. 2018; 1-4. doi: 10.1109/siu.2018.8404243

11. Thill B. Fetal pain in the first trimester. *Linacre Q*. 2022; 89(1): 73-100. doi: 10.1177/00243639211059245

12. Ahmad KA, Frey CS, Fierro MA, Kenton AB, Placencia FX. Two-Year neurodevelopmental outcome of an infant born at 21 weeks 4 days gestation. *Pediatrics*. 2017; 140(6): e20170103. doi: 10.1542/peds.2017-0103

Сведения об авторах

Коротаева Наталья Владимировна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры неонатологии и педиатрии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России; врач-неонатолог отделения патологии новорожденных и недоношенных детей, Перинатальный центр, БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая больница № 1», e-mail: korotaeva.nv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5859-7717>

Ипполитова Людмила Ивановна – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой неонатологии и педиатрии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России, e-mail: liipolitova@okb-vrn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7076-0484>

Першина Елена Сергеевна – ассистент кафедры неонатологии и педиатрии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России; врач-неонатолог отделения патологии новорожденных и недоношенных детей, Перинатальный центр, БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая больница № 1», e-mail: pershina.elenasergeevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2182-1062>

Information about the authors

Natalia V. Korotaeva – Cand. Sc. (Med.), Associate Professor at the Department of Neonatology and Pediatrics, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko; Neonatologist at the Department of the Pathology of Newborns and Premature Children, Perinatal Center, Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1, e-mail: korotaeva.nv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5859-7717>

Lyudmila I. Ippolitova – Dr. Sc. (Med.), Head of the Department of Neonatology and Pediatrics, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, e-mail: liipolitova@okb-vrn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7076-0484>

Elena S. Pershina – Teaching Assistant at the Department of Neonatology and Pediatrics, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko; Neonatologist at the Department of the Pathology of Newborns and Premature Children, Perinatal Center, Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1, e-mail: pershina.elenasergeevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2182-1062>