



Атаева Саодат Хуршедовна¹

Соатмуродов Фаррух Шухрат угли²

*1. Ассистент кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета,
г. Самарканд, Узбекистан*

*2. Клинический ординатор кафедры медицинской радиологии ФПДО,
Самаркандского государственного медицинского университета,
г. Самарканд, Узбекистан*

soatmurodovfarrux85@gmail.com +998914665335

Доплерометрия и цифровые методы оценки фетоплацентарного кровотока

Аннотация

Фетоплацентарный кровоток представляет собой сложную многоуровневую систему, обеспечивающую транспорт кислорода и питательных веществ от организма матери к плоду и играющую ключевую роль в формировании его нормального роста и развития. Нарушения гемодинамики в системе «мать–плацента–плод» являются одной из ведущих причин перинатальной заболеваемости и смертности и могут приводить к развитию плацентарной недостаточности, хронической гипоксии плода и задержке внутриутробного развития.

В современных условиях особое значение приобретает своевременная и точная диагностика нарушений кровотока. Доплерометрия, основанная на эффекте Доплера, является высокоинформативным, неинвазивным методом исследования, позволяющим количественно и качественно оценивать состояние сосудистого русла маточных артерий, артерии пуповины и других сосудов плода. Основными диагностическими параметрами являются индекс резистентности (RI), индекс пульсации (PI) и систоло-диастолическое соотношение, отражающие уровень периферического сосудистого сопротивления.

В последние годы значительное развитие получили цифровые методы обработки медицинских данных, включая автоматизированный анализ доплеровских кривых кровотока, использование специализированного программного обеспечения и элементов искусственного интеллекта. Эти технологии позволяют повысить точность измерений, снизить вариабельность результатов, обусловленную человеческим фактором, и улучшить визуализацию гемодинамических изменений.

В данной работе представлена сравнительная оценка доплерометрических показателей у беременных с физиологическим течением гестации и у пациенток с признаками плацентарной недостаточности. Проанализирована диагностическая значимость цифровых методов обработки данных при выявлении нарушений фетоплацентарного кровотока и их роль в повышении эффективности пренатального мониторинга.

Ключевые слова: доплерометрия, фетоплацентарный кровоток, система мать–плацента–плод, плацентарная недостаточность, хроническая гипоксия плода, задержка внутриутробного развития, индекс резистентности, индекс пульсации, систоло-диастолическое отношение, цифровые методы анализа, автоматизированная обработка данных, ультразвуковая диагностика, пренатальный мониторинг.

Doplerometriya va fetoplatsentar qon oqimini baholashning raqamli usullari

Annotatsiya

Fetoplatsentar qon oqimi ona organizmidan homilaga kislorod va ozuqa moddalarining tashilishini ta'minlaydigan murakkab, ko'p bosqichli tizim bo'lib, homilaning me'yorda o'sishi va rivojlanishida hal qiluvchi rol o'ynaydi. "Ona-platsenta-homila" tizimidagi gemodinamika buzilishlari perinatal kasallanish va o'lim holatlarining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi hamda platsentar yetishmovchilik, homilaning surunkali gipoksiyasi va bachadon ichi rivojlanishining sekinlashishiga olib kelishi mumkin.

Zamonaviy sharoitda qon oqimi buzilishlariga o'z vaqtida va aniq tashxis qo'yish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Dopler effektiga asoslangan doplerometriya bachadon arteriyalari, kindik arteriyasi va homilaning boshqa tomirlaridagi qon oqimi holatini miqdoriy va sifat jihatidan baholash imkonini beruvchi yuqori informativ, noinvaziv tekshiruv usulidir. Periferik tomirlar qarshiligi darajasini aks ettiruvchi rezistentlik indeksi, pulsatsion indeks va sistola-diastolik nisbat asosiy diagnostik ko'rsatkichlar sanaladi.

So'nggi yillarda tibbiy ma'lumotlarni qayta ishlashning raqamli usullari, jumladan, qon oqimining doplerometrik egri chiziqlarini avtomatlashtirilgan tahlil qilish, ixtisoslashtirilgan dasturiy ta'minot va sun'iy intellekt elementlaridan foydalanish sezilarli darajada rivojlandi. Bu texnologiyalar o'lchovlar aniqligini oshirishga, inson omiliga bog'liq natijalardagi o'zgaruvchanlikni kamaytirishga hamda gemodinamik o'zgarishlarning vizualizatsiyasini yaxshilashga yordam beradi.

Ushbu ilmiy ishda homiladorlik davri fiziologik kechayotgan ayollar hamda platsentar yetishmovchilik belgilari kuzatilgan bemorlardagi doplerometrik ko'rsatkichlar qiyosiy baholangan. Shuningdek, fetoplatsentar qon oqimi buzilishlarini aniqlashda ma'lumotlarni qayta ishlashning raqamli usullarining diagnostik ahamiyati va ularning prenatal monitoring samaradorligini oshirishdagi o'rni tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Doplerometriya, fetoplatsentar qon oqimi, ona-platsenta-homila tizimi, platsentar yetishmovchilik, homilaning surunkali gipoksiyasi, bachadon ichi rivojlanishining sekinlashishi, rezistentlik indeksi, pulsatsion indeks, sistola-diastolik nisbat, raqamli tahlil usullari, ma'lumotlarni avtomatlashtirilgan qayta ishlash, ultratovush diagnostikasi, prenatal monitoring.

Doppler ultrasonography and digital methods for assessing fetoplacental blood flow

Abstract

Fetoplacental blood flow is a complex multi-level system that ensures the transport of oxygen and nutrients from the mother's body to the fetus and plays a key role in the formation of its normal growth and development. Hemodynamic disturbances in the mother-placenta-fetus system are one of the leading causes of perinatal morbidity and mortality and can lead to the development of placental insufficiency, chronic fetal hypoxia, and intrauterine developmental delay.

In modern conditions, timely and accurate diagnosis of blood flow disorders is of particular importance. Doppler effect-based dopplerometry is a highly informative, non-invasive research method that allows for quantitative and qualitative assessment of the vascular bed of the uterine arteries, the umbilical cord arteries, and other fetal vessels. The main diagnostic parameters are the resistance index, pulsation index, and systolic-diastolic ratio, which reflect the level of peripheral vascular resistance.

In recent years, digital methods for processing medical data, including the automated analysis of blood flow Doppler curves, the use of specialized software, and artificial intelligence elements, have gained significant development. These technologies allow for increased measurement accuracy, reduced result variability due to the human factor, and improved visualization of hemodynamic changes.

This work presents a comparative assessment of dopplerometric indicators in pregnant women with a physiological course of gestation and in patients with signs of placental insufficiency. The diagnostic significance of digital data processing methods in identifying fetoplacental blood flow disorders and their role in increasing the effectiveness of prenatal monitoring was analyzed.

Keywords: doppler ultrasound, fetoplacental blood flow, mother-placenta-fetus system, placental insufficiency, chronic fetal hypoxia, intrauterine developmental delay, resistance index, pulsation index, systolic-diastolic ratio, digital analysis methods, automated data processing, ultrasound diagnostics, prenatal monitoring.

Введение

Современная акушерская практика ориентирована на снижение перинатальной заболеваемости и смертности, что во многом определяется возможностью ранней диагностики нарушений внутриутробного состояния плода. Одной из наиболее значимых проблем перинатологии остается плацентарная недостаточность, которая развивается вследствие морфофункциональных изменений плаценты и сопровождается нарушением маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровотока. Данное состояние приводит к недостаточному поступлению кислорода и питательных веществ к плоду, формированию хронической гипоксии, задержке внутриутробного развития и повышению риска неблагоприятных исходов беременности и родов.

Фетоплацентарная система представляет собой сложный гемодинамический комплекс, включающий взаимодействие материнского, плацентарного и плодового кровообращения. Любые изменения сосудистого тонуса, структуры сосудистой стенки или реологических свойств крови могут приводить к увеличению периферического сопротивления и нарушению перфузии плаценты. В связи с этим особое значение приобретает объективная оценка параметров кровотока, позволяющая выявлять патологические изменения на доклинической стадии.

Одним из наиболее информативных и широко применяемых методов диагностики является доплерометрия, основанная на использовании эффекта Доплера. Данный метод позволяет неинвазивно исследовать характер кровотока в маточных артериях, артерии пуповины, а также в сосудах плода (средней мозговой артерии, венозном протоке и др.). Допплерометрия обеспечивает количественную оценку скоростных характеристик кровотока и позволяет судить о состоянии сосудистого сопротивления.

К числу основных доплерометрических показателей, имеющих наибольшее клиническое значение, относятся:

- индекс резистентности (RI), отражающий степень сопротивления периферического сосудистого русла;
- индекс пульсации (PI), характеризующий вариабельность скоростей кровотока в течение сердечного цикла;
- систоло-диастолическое отношение (S/D), позволяющее оценить соотношение максимальной систолической и конечной диастолической скоростей кровотока.

Изменение данных показателей является ранним маркером нарушения гемодинамики и позволяет диагностировать патологические состояния еще до появления клинических симптомов.

В последние годы особую актуальность приобретают цифровые методы обработки медицинских данных, внедряемые в ультразвуковую диагностику. Использование специализированного программного обеспечения позволяет проводить автоматизированный анализ доплеровских спектров, снижать влияние субъективного фактора и повышать воспроизводимость результатов. Дополнительные возможности предоставляют технологии искусственного интеллекта и машинного обучения, которые способны выявлять скрытые закономерности и прогнозировать развитие осложнений беременности.

Таким образом, сочетание традиционной доплерометрии с современными цифровыми технологиями открывает новые перспективы в диагностике нарушений фетоплацентарного кровотока, повышает точность пренатального мониторинга и способствует своевременной коррекции тактики ведения беременности.

Цель исследования

Целью настоящего исследования является комплексное изучение особенностей доплерометрических показателей фетоплацентарного кровотока у беременных с физиологическим течением гестации и при плацентарной недостаточности, а также оценка диагностической значимости и эффективности применения современных цифровых методов анализа данных в выявлении нарушений гемодинамики в системе «мать–плацента–плод».

Особое внимание в работе уделено анализу количественных параметров кровотока, включая индекс резистентности (RI), индекс пульсации (PI) и систоло-диастолическое отношение (S/D), с целью определения их прогностической ценности при ранней диагностике плацентарной недостаточности.

Дополнительно целью исследования является оценка возможностей цифровых технологий, включая автоматизированную обработку доплеровских спектров, программный расчет гемодинамических индексов и методы визуализации данных, в повышении точности, воспроизводимости и объективности результатов ультразвуковой диагностики.

В рамках поставленной цели также предполагается выявление различий в показателях фетоплацентарного кровотока между исследуемыми группами, определение наиболее информативных диагностических критериев и обоснование целесообразности внедрения цифровых методов в клиническую акушерскую практику для улучшения пренатального мониторинга и прогнозирования перинатальных исходов.

Материалы и методы исследования

Контингент исследования

В исследование были включены 60 беременных женщин в сроке гестации от 28 до 36 недель. Все пациентки находились под наблюдением и проходили комплексное клинико-инструментальное обследование.

Критериями включения являлись: одноплодная беременность, отсутствие тяжелой соматической патологии, информированное согласие на участие в исследовании. Исключались пациентки с многоплодной беременностью, врожденными аномалиями плода и тяжелыми экстрагенитальными заболеваниями.

Формирование групп

Все обследованные женщины были разделены на две равные группы:

- **Группа 1 (n=30)** — беременные с физиологическим течением беременности без признаков плацентарной недостаточности.
- **Группа 2 (n=30)** — беременные с клинико-инструментально подтвержденными признаками плацентарной недостаточности.

Диагноз плацентарной недостаточности устанавливался на основании совокупности клинических данных, результатов ультразвукового исследования и доплерометрии.

Методы исследования

1. Ультразвуковая доплерометрия

Всем пациенткам проводилось ультразвуковое исследование с доплерометрической оценкой кровотока. Исследование выполнялось на аппаратах экспертного класса с использованием стандартных методик.

Оценивались следующие сосуды:

- маточные артерии
- артерия пуповины

Измерения проводились с соблюдением угла инсонсации и стандартных точек регистрации кровотока.

2. Определяемые показатели

В ходе доплерометрического исследования определялись основные гемодинамические индексы:

- **Индекс резистентности (RI)** — характеризует степень сосудистого сопротивления.
- **Индекс пульсации (PI)** — отражает вариабельность кровотока и периферическое сопротивление сосудов.

Полученные показатели использовались для оценки состояния маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровообращения.

3. Цифровые методы анализа

Для повышения точности и объективности результатов применялись современные цифровые технологии обработки данных:

- автоматический анализ спектральных доплеровских кривых
- программный расчет гемодинамических индексов
- визуализация данных в виде графиков и цифровых моделей

Использование цифровых методов позволило минимизировать влияние субъективного фактора и повысить воспроизводимость результатов.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов вариационной статистики. Рассчитывались средние значения показателей, стандартные отклонения, а также проводился сравнительный анализ между группами.

Достоверность различий оценивалась с использованием параметрических и непараметрических критериев в зависимости от распределения данных. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

Анализ полученных данных показал, что у беременных второй группы, страдающих плацентарной недостаточностью, наблюдалось достоверное повышение показателей сосудистого сопротивления в исследуемых сосудах.

В частности, отмечалось увеличение значений индекса резистентности и индекса пульсации в маточных артериях и артерии пуповины по сравнению с группой физиологической беременности.

Выявленные изменения свидетельствуют о нарушении маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровотока, что отражает снижение перфузии плаценты и ухудшение условий для внутриутробного развития плода.

Таким образом, полученные результаты подтверждают диагностическую значимость доплерометрических показателей в выявлении плацентарной недостаточности и могут быть использованы для ранней диагностики и мониторинга состояния плода.

Контингент исследования

В исследование были включены 60 беременных женщин в сроке гестации от 28 до 36 недель. Все пациентки находились под наблюдением и проходили комплексное клинико-инструментальное обследование.

Критериями включения являлись: одноплодная беременность, отсутствие тяжелой соматической патологии, информированное согласие на участие в исследовании. Исключались пациентки с многоплодной беременностью, врожденными аномалиями плода и тяжелыми экстрагенитальными заболеваниями.

Формирование групп

Все обследованные женщины были разделены на две равные группы:

- **Группа 1 (n=30)** — беременные с физиологическим течением беременности без признаков плацентарной недостаточности.
- **Группа 2 (n=30)** — беременные с клинико-инструментально подтвержденными признаками плацентарной недостаточности.

Диагноз плацентарной недостаточности устанавливался на основании совокупности клинических данных, результатов ультразвукового исследования и доплерометрии.

Методы исследования

1. Ультразвуковая доплерометрия

Всем пациенткам проводилось ультразвуковое исследование с доплерометрической оценкой кровотока. Исследование выполнялось на аппаратах экспертного класса с использованием стандартных методик.

Оценивались следующие сосуды:

- маточные артерии
- артерия пуповины

Измерения проводились с соблюдением угла инсонсации и стандартных точек регистрации кровотока.

2. Определяемые показатели

В ходе доплерометрического исследования определялись основные гемодинамические индексы:

- **Индекс резистентности (RI)** — характеризует степень сосудистого сопротивления.
- **Индекс пульсации (PI)** — отражает вариабельность кровотока и периферическое сопротивление сосудов.

Полученные показатели использовались для оценки состояния маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровообращения.

3. Цифровые методы анализа

Для повышения точности и объективности результатов применялись современные цифровые технологии обработки данных:

- автоматический анализ спектральных доплеровских кривых
- программный расчет гемодинамических индексов
- визуализация данных в виде графиков и цифровых моделей

Использование цифровых методов позволило минимизировать влияние субъективного фактора и повысить воспроизводимость результатов.

Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов вариационной статистики. Рассчитывались средние значения показателей (M), стандартные отклонения (SD), а также проводился сравнительный анализ между группами.

Достоверность различий оценивалась с использованием параметрических и непараметрических критериев в зависимости от распределения данных. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

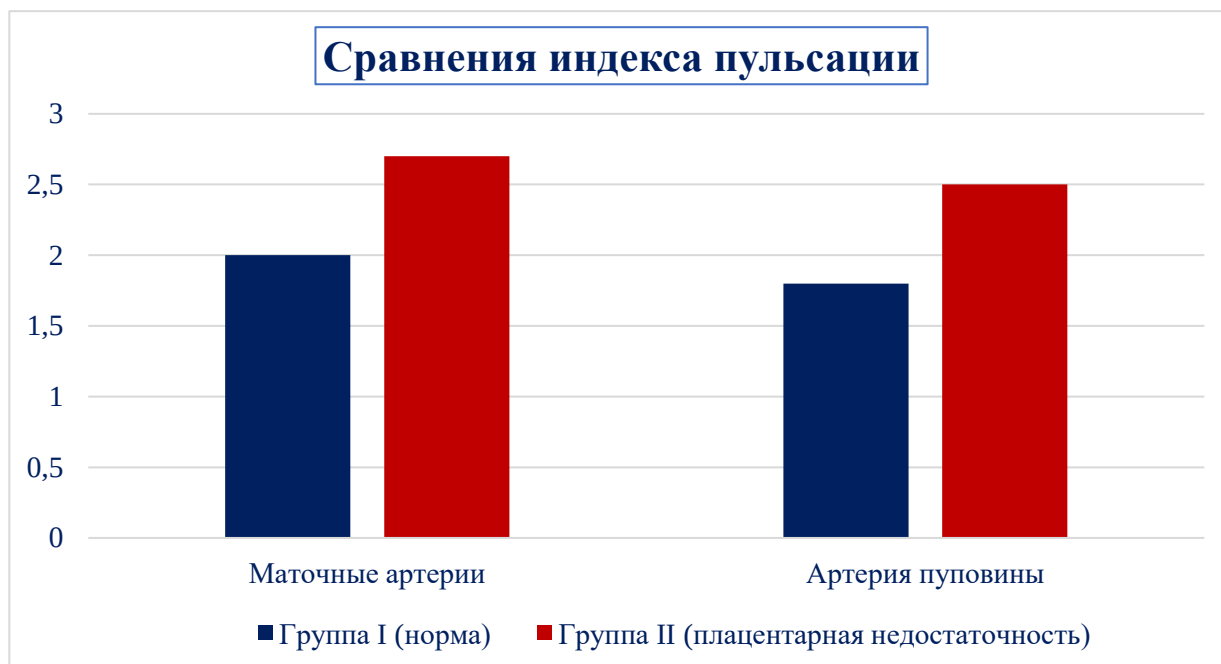
Анализ полученных данных показал, что у беременных второй группы, страдающих плацентарной недостаточностью, наблюдалось достоверное повышение показателей сосудистого сопротивления в исследуемых сосудах.

В частности, отмечалось увеличение значений индекса резистентности (RI) и индекса пульсации (PI) в маточных артериях и артерии пуповины по сравнению с группой физиологической беременности.

Выявленные изменения свидетельствуют о нарушении маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровотока, что отражает снижение перфузии плаценты и ухудшение условий для внутриутробного развития плода.

Таким образом, полученные результаты подтверждают диагностическую значимость доплерометрических показателей в выявлении плацентарной недостаточности и могут быть использованы для ранней диагностики и мониторинга состояния плода.

Рисунок 1. Сравнительная характеристика индекса пульсации в исследуемых группах



Пояснение к диаграмме

Как видно из представленной диаграммы, у беременных с плацентарной недостаточностью отмечается достоверное повышение индекса пульсации как в маточных артериях, так и в артерии пуповины. Это свидетельствует о повышении периферического сосудистого сопротивления и ухудшении перфузии плаценты.

Цифровые методы обработки позволили минимизировать погрешности измерений и повысить точность интерпретации полученных результатов.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую диагностическую значимость ультразвуковой доплерометрии в оценке состояния маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровотока. Данный метод позволяет неинвазивно и объективно выявлять гемодинамические нарушения на различных этапах беременности, что особенно важно при подозрении на плацентарную недостаточность.

Установлено, что повышение показателей сосудистого сопротивления, в частности индекса резистентности (RI) и индекса пульсации (PI), достоверно ассоциировано с

развитием плацентарной недостаточности. Выявленные изменения отражают нарушение перфузии плаценты, снижение эффективности кровоснабжения плода и могут служить ранними маркерами неблагоприятного течения беременности.

Применение современных цифровых технологий обработки доплерометрических данных значительно расширяет диагностические возможности исследования.

Использование автоматизированного анализа спектральных кривых и программного расчета гемодинамических индексов обеспечивает:

- повышение точности и воспроизводимости измерений;
- снижение влияния субъективного фактора со стороны исследователя;
- стандартизацию получаемых результатов;
- улучшение визуализации данных, что облегчает их интерпретацию.

Комплексное использование доплерометрии и цифровых методов анализа позволяет не только своевременно выявлять нарушения фетоплацентарного кровотока, но и осуществлять динамический мониторинг состояния плода. Это, в свою очередь, способствует ранней диагностике плацентарной недостаточности, более точной стратификации риска и оптимизации тактики ведения беременности.

Таким образом, интеграция традиционных ультразвуковых методов с цифровыми технологиями является перспективным направлением современной перинатальной диагностики и может способствовать снижению перинатальной заболеваемости и улучшению исходов беременности.

Список литературы:

1. Аметова а.с., саидахматов н.с., низамов х.м. (2025). Узи-оценка функции и структуры периферических нервов: нейросонография как инструмент ранней диагностики. *Healthway*, 1(3), 246-253. <https://doi.org/10.64411/ma5nsq63>
2. Умаров Ф.У., Усмонова М.Ш. (2025). Современные подходы к снижению лучевой нагрузки при кт- исследованиях: алгоритмы оптимизации дозы. *Healthway*, 1(3), 93-100. <https://doi.org/10.64411/tkd50871>
3. Atayeva s.x., bafoyeva m.m. (2025). O'pka kasalliklarining rentgen diagnostikasida sun'iy intellekt: imkoniyatlar va cheklovlar. *Healthway*, 1(3), 101-110. <https://doi.org/10.64411/06msbe93>
4. Гайбуллаев ш.о., туранов а.р., химматов и.х. (2024). Современные методики мрт диагностики при опухолях головного мозга. *Journal the coryphaeus of science*, 6(2), 11–15. Retrieved from <http://jtcos.ru/index.php/jtcos/article/view/257>

5. Атаева с.х., шодманов ф.ж. (2024). Тиббиётда сунъий интеллект. Science and innovation, 4(2), 47–57. Retrieved from <https://cyberlininka.ru/index.php/sai/article/view/82>
6. Atayeva s.x., shodmanov f.j. (2024). Ultratovush va uning klinik diagnostikadagi roli. Science and innovation, 4(2), 58–66. Retrieved from <https://cyberlininka.ru/index.php/sai/article/view/83>
7. Нурмурзаев, з. Н., жураев, к. Д., & гайбуллаев, ш. О. (2023). Тонкоигольная аспирационная цитология под ультразвуковым контролем в диагностике забрюшинных образований: исследование 85 случаев. Academic research in educational sciences, 4(4), 126–133.
8. Хамидов , о. , гайбуллаев , ш. И давранов , и. 2023. Сравнение результатов узи и мрт в диагностике повреждений мениска коленного сустава. Евразийский журнал медицинских и естественных наук. 3, 4 (апр. 2023), 176–183.
9. Хамидов о. А., гайбуллаев ш. О., хакимов м. Б. Обзор методов обработки изображений для диагностики патологии головного мозга: проблемы и возможности //journal of new century innovations. – 2022. – т. 10. – №. 5. – с. 181-195.
10. Khamidov oa, akhmedov ya, yakubov dzh, shodieva ne, tukhtaev ti diagnostic possibilities of uses in polykystosis of kidneys. Web of scientist: international scientific research journal. 2021;2(8):27-33
11. Khamidov oa, ataeva skh, ametova as, yakubov dzh, khaydarov ss a case of ultrasound diagnosis of necrotizing papillitis. Central asian journal of medical and natural sciences. 2021;2(4):103-107
12. Abdurakhmanovich, k. O., & ugli, g. S. O. (2022). Ultrasonic diagnosis methods for choledocholithiasis. Central asian journal of medical and natural sciences, 3(2), 43-47.
13. Abdurakhmanovich, k. O., & ugli, g. S. O. (2022). Ultrasound diagnosis of the norm and diseases of the cervix. Central asian journal of medical and natural sciences, 3(2), 58-63.