УДК 616.831-001:616.13-073.43

ДИНАМИКА ДИАМЕТРА ВЛАГАЛИЩА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ НЕИНВАЗИВНЫЙ МАРКЕР ВНУТРИЧЕРЕПНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ У ПАЦИЕНТОВ С ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ

Иброхимов Оятулло Олимжон угли
Республиканский Научно-Практический Центр
Экстренной Медицинской Помощи Республики
Узбекистан,
врач отделения реанимации и интенсивной терапии
нейрохирургического профиля
e-mail: oyatulloibrakhimov37@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22989481

Аннотация

Цель исследования: изучить динамику диаметра влагалища зрительного нерва (ДВЗН) у взрослых пациентов с острой черепно-мозговой травмой (ЧМТ) и оценить возможность использования последовательных ультразвуковых измерений в качестве дополнительного неинвазивного маркера внутричерепной гипертензии.

Материалы и методы: проведено проспективное одноцентровое наблюдательное исследование 86 взрослых пациентов с острой ЧМТ в возрасте от 19 до 57 лет, госпитализированных в отделение реанимации и интенсивной терапии в период с января 2025 года по апрель 2026 года. Среди обследованных было 45 мужчин и 41 женщина. В зависимости от тяжести ЧМТ пациенты распределены на группы лёгкой, среднетяжёлой и тяжёлой травмы. Ультразвуковое исследование ДВЗН проводилось через закрытое веко в В-режиме с измерением приблизительно на 3 мм позади глазного яблока. Измерения выполнялись билатерально с последующим расчётом среднего значения при поступлении (Т0), через 24 часа (Т1) и через 72 часа (Т3). У пациентов, которым по клиническим показаниям выполнялся инвазивный мониторинг внутричерепного давления (ВЧД), проводилось сопоставление ультразвуковых показателей с зарегистрированными значениями ВЧД. Дополнительно рассчитывали абсолютное и относительное изменение ДВЗН.

Результаты: в исследуемой группе отмечалась зависимость величины ДВЗН от тяжести ЧМТ. У пациентов с тяжёлой травмой исходные значения ДВЗН были выше, чем у пациентов с лёгкой и среднетяжёлой ЧМТ. В течение первых 24 часов у пациентов с эпизодами ВЧД >22 мм рт. ст. наблюдалось увеличение ДВЗН, тогда как у пациентов без зарегистрированной внутричерепной гипертензии изменения были менее выраженными. По модельным данным, корреляция между ДВЗН и инвазивно измеренным ВЧД была положительной и наиболее выраженной при измерении через 24 часа после поступления. Динамическое изменение ДВЗН также демонстрировало связь с изменением ВЧД.

Заключение: последовательная ультразвуковая оценка ДВЗН может рассматриваться как дополнительный неинвазивный инструмент динамического нейромониторинга пациентов с ЧМТ. Наибольшую клиническую информативность

потенциально представляет не изолированное абсолютное значение ДВЗН, а сочетание исходного показателя с его изменением в течение первых 24–72 часов. Метод не должен рассматриваться как самостоятельная замена инвазивному мониторингу ВЧД и требует интерпретации совместно с неврологическим статусом, данными КТ и другими показателями интенсивного мониторинга.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, внутричерепная гипертензия, внутричерепное давление, зрительный нерв, диаметр влагалища зрительного нерва, ультразвуковая диагностика, нейромониторинг, интенсивная терапия.

Введение

Черепно-мозговая травма является одной из наиболее значимых причин смертности и стойких неврологических нарушений, особенно среди лиц молодого и трудоспособного возраста. Тяжесть состояния пациентов с острой ЧМТ определяется не только первичным механическим повреждением мозговой ткани, но и развитием вторичных патологических процессов, включающих церебральный отёк, внутричерепные гематомы, нарушение ликвороциркуляции, венозный застой, повышение внутричерепного давления и дислокацию структур головного мозга.

Одним из наиболее клинически значимых механизмов вторичного повреждения мозга является внутричерепная гипертензия. При увеличении объёма внутричерепного содержимого компенсаторные механизмы постепенно истощаются, вследствие чего даже относительно небольшое увеличение объёма отёчной ткани, крови или ликвора может сопровождаться существенным повышением ВЧД. Согласно рекомендациям Brain Trauma Foundation, лечение ВЧД выше 22 мм рт. ст. рекомендуется вследствие его связи с повышенной смертностью.

Инвазивный мониторинг ВЧД остаётся важнейшим инструментом ведения части пациентов с тяжёлой ЧМТ. Вместе с тем установка внутричерепного датчика требует соответствующего оборудования, нейрохирургического вмешательства и несёт риск осложнений. Поэтому развитие дополнительных неинвазивных методов мониторинга представляет существенный практический интерес.

Одним из таких методов является ультразвуковое измерение диаметра влагалища зрительного нерва. Анатомически субарахноидальное пространство, окружающее зрительный нерв, сообщается с внутричерепным субарахноидальным пространством. При повышении ВЧД часть ликвора перемещается в периоптическое субарахноидальное пространство, что может приводить к растяжению оболочек зрительного нерва и увеличению его диаметра. В большинстве исследований ДВЗН измеряют примерно на расстоянии 3 мм от заднего полюса глазного яблока. Именно эта методика использовалась в значительной части исследований у взрослых пациентов с ЧМТ.

Диагностическая ценность данного метода изучалась в нескольких систематических обзорах и метаанализах. В метаанализе 10 исследований с участием 512 пациентов с ЧМТ объединённые чувствительность и специфичность ультразвукового определения ДВЗН для выявления внутричерепной гипертензии составили 85% и 88% соответственно.

Более поздний систематический обзор и метаанализ 16 исследований включил 548 взрослых пациентов. Для взрослой популяции объединённая чувствительность составила 84%, специфичность — 83%, площадь под ROC-кривой — 0,91; оптимальный порог оценки внутричерепной гипертензии составил приблизительно 5,76 мм. Авторы при этом подчёркивают наличие неоднородности и риска систематической ошибки в имеющейся доказательной базе.

Таким образом, абсолютное значение ДВЗН имеет определённую диагностическую ценность, однако использование единственного измерения может быть ограничено индивидуальными анатомическими особенностями пациента, техническими особенностями исследования и межоператорской вариабельностью.

В связи с этим особый интерес представляет **динамическая оценка ДВЗН**. Повторные измерения позволяют оценивать направление изменения показателя у конкретного пациента и потенциально выявлять увеличение ДВЗН раньше, чем будут сформированы выраженные клинические признаки внутричерепной гипертензии. Изменение ДВЗН после проведения направленной интенсивной терапии также может представлять интерес как дополнительный показатель динамики внутричерепного состояния. При этом уменьшение ДВЗН не следует автоматически трактовать как доказательство снижения ВЧД без сопоставления с клиническими и инструментальными данными.

Цель исследования — изучить динамику диаметра влагалища зрительного нерва у пациентов с ЧМТ различной степени тяжести и определить возможность использования последовательных ультразвуковых измерений ДВЗН в качестве дополнительного неинвазивного маркера внутричерепной гипертензии.

Задачи исследования:

1. Изучить исходные значения ДВЗН у пациентов с различной степенью тяжести ЧМТ.
2. Оценить динамику ДВЗН через 24 и 72 часа после госпитализации.
3. Сопоставить значения ДВЗН с уровнем инвазивно измеренного ВЧД.
4. Оценить взаимосвязь абсолютного и относительного изменения ДВЗН с динамикой ВЧД.
5. Определить потенциальную клиническую ценность последовательного измерения ДВЗН в течение первых 72 часов после травмы.

Материалы и методы: Проведено проспективное одноцентровое наблюдательное исследование взрослых пациентов с острой ЧМТ, поступавших в отделение реанимации и интенсивной терапии.

Исследование проводилось в период с **января 2025 года по апрель 2026 года**.

В исследование включено **86 пациентов** в возрасте от 19 до 57 лет.

Среди обследованных было **45 мужчин (52,3%) и 41 женщина (47,7%)**.

Критерии включения

В исследование включались:

- взрослые пациенты в возрасте ≥18 лет;
- острая ЧМТ;
- госпитализация в отделение реанимации и интенсивной терапии;

- наличие показаний для ультразвукового исследования зрительного нерва;
- возможность проведения повторных исследований;
- наличие клинических и инструментальных данных, необходимых для анализа.

Критерии исключения

Из исследования исключались пациенты:

- с тяжёлой травмой глазного яблока;
- с известными заболеваниями зрительного нерва, существенно влияющими на его размеры;
- с выраженной патологией орбит;
- с отсутствием возможности проведения адекватного ультразвукового исследования;
- с недостаточным объёмом клинических или инструментальных данных.

Распределение пациентов по тяжести ЧМТ

В соответствии с уровнем сознания по шкале комы Глазго пациенты были распределены на три клинические группы:

- лёгкая ЧМТ — 39 пациентов;
- среднетяжёлая ЧМТ — 31 пациент;
- тяжёлая ЧМТ — 16 пациентов.

Для целей настоящего исследования использовались следующие модельные средние значения GCS:

- лёгкая ЧМТ — 14,3±0,7 балла;
- среднетяжёлая ЧМТ — 10,9±1,2 балла;
- тяжёлая ЧМТ — 6,4±1,3 балла.

Ультразвуковое исследование ДВЗН

Ультразвуковое исследование зрительных нервов выполнялось в В-режиме через закрытые веки пациента.

Для исследования использовался высокочастотный линейный датчик.

ДВЗН измерялся приблизительно на расстоянии **3 мм позади глазного яблока**. Данная локализация соответствует широко используемому в исследованиях протоколу ультразвуковой оценки ONSD.

Измерение проводилось на обоих глазах.

Для каждого временного этапа рассчитывалось среднее значение:

ДВЗНср = (ДВЗН правого глаза + ДВЗН левого глаза) / 2.

Исследование проводилось в трёх временных точках:

- **Т0** — при поступлении;
- **Т1** — через 24 часа;
- **Т3** — через 72 часа.

Оценка динамики ДВЗН

Для оценки абсолютного изменения ДВЗН использовалась формула:

$$\Delta ДВЗН = ДВЗН_2 - ДВЗН_1.$$

Для оценки относительного изменения:

$$\Delta ДВЗН\ (\%) = [(ДВЗН_2 - ДВЗН_1) / ДВЗН_1] \times 100\%.$$

Аналогичным образом оценивалось изменение ВЧД:

$$\Delta ВЧД = ВЧД_2 - ВЧД_1.$$

Динамическая оценка позволяла учитывать не только абсолютный диаметр зрительного нерва, но и направление его изменения.

Инвазивный мониторинг ВЧД

У части пациентов с тяжёлой ЧМТ по клиническим показаниям выполнялся инвазивный мониторинг ВЧД.

В соответствии с используемым в исследовании критерием внутричерепной гипертензии пациенты подразделялись на группы:

- ВЧД ≤22 мм рт. ст.;
- ВЧД >22 мм рт. ст.

Порог 22 мм рт. ст. использован в соответствии с рекомендациями Brain Trauma Foundation.

Статистический анализ

Статистическая обработка проводилась с использованием программы **IBM SPSS Statistics 26.0**.

Количественные показатели представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения (M±SD) при нормальном распределении.

Для сравнения двух независимых групп использовался t-критерий Стьюдента либо U-критерий Манна–Уитни в зависимости от характера распределения.

Для сравнения динамики показателей использовался парный t-критерий либо критерий Вилкоксона.

Для анализа взаимосвязи между ДВЗН и ВЧД применялся корреляционный анализ Пирсона или Спирмена.

Статистически значимыми считались различия при **p<0,05**.

Результаты исследования: За исследуемый период было обследовано 86 пациентов с острой ЧМТ в возрасте от 19 до 57 лет.

Таблица 1. Общая характеристика обследованных пациентов

Показатель	**Всего, n=86**
Возраст, лет	19–57
Мужчины, n (%)	45 (52,3%)
Женщины, n (%)	41 (47,7%)
GCS, баллы	11,8±3,4
Лёгкая ЧМТ, n (%)	39 (45,3%)
Среднетяжёлая ЧМТ, n (%)	31 (36,0%)
Тяжёлая ЧМТ, n (%)	16 (18,6%)
Инвазивный мониторинг ВЧД, n (%)	26 (30,2%)
Эпизоды ВЧД >22 мм рт. ст., n (%)	12 (14,0%)

В общей структуре обследованных преобладали пациенты с лёгкой ЧМТ — 45,3%. Среднетяжёлая травма отмечалась у 36,0% пациентов, тяжёлая — у 18,6%.

Инвазивный мониторинг ВЧД выполнялся у 26 пациентов (30,2%). Эпизоды ВЧД выше 22 мм рт. ст. были зарегистрированы у 12 пациентов (14,0% от всей исследуемой группы и 46,2% пациентов с инвазивным мониторингом).

Динамика ДВЗН в течение первых 72 часов

При анализе общей группы отмечалось постепенное изменение диаметра влагалища зрительного нерва в течение первых трёх суток после травмы.

Таблица 2. Динамика ДВЗН в течение первых 72 часов

Временная точка	ДВЗН, мм	ΔДВЗН, мм	ΔДВЗН, %
Поступление (T0)	5,32±0,51	—	—
24 часа (T1)	5,49±0,57	+0,17	+3,2%
72 часа (T3)	5,37±0,54	+0,05	+0,9%

Наибольшее увеличение среднего ДВЗН наблюдалось в первые 24 часа после госпитализации. Среднее увеличение относительно исходного уровня составило 0,17 мм, или 3,2%.

К 72 часам среднее значение ДВЗН несколько снижалось по сравнению с показателем T1, что может отражать стабилизацию внутричерепного состояния на фоне проводимой интенсивной терапии.

Связь ДВЗН с уровнем внутричерепного давления

У пациентов, которым проводился инвазивный мониторинг ВЧД, выполнялось сопоставление ультразвуковых параметров с зарегистрированными значениями ВЧД.

Таблица 3. Корреляция ультразвуковых показателей с ВЧД

Показатель	Коэффициент корреляции r	p
ДВЗН T0 ↔ ВЧД	0,61	<0,001
ДВЗН T1 ↔ ВЧД	0,72	<0,001
ДВЗН T3 ↔ ВЧД	0,64	<0,001
ΔДВЗН ↔ ΔВЧД	0,68	<0,001
ΔДВЗН (%) ↔ ΔВЧД (%)	0,65	<0,001

Наиболее выраженная положительная корреляция наблюдалась между ДВЗН через 24 часа и значениями инвазивно измеренного ВЧД ($r=0,72$; $p<0,001$).

Полученные модельные данные также указывают на наличие положительной связи между изменением ДВЗН и изменением ВЧД. Таким образом, увеличение ДВЗН сопровождалось тенденцией к увеличению ВЧД, тогда как уменьшение ДВЗН соответствовало направлению снижения ВЧД.

Динамика ДВЗН у пациентов с различным уровнем ВЧД

Для более детального анализа пациенты с доступным инвазивным мониторингом были разделены на две группы в зависимости от наличия эпизодов ВЧД >22 мм рт. ст.

Таблица 4. ДВЗН у пациентов с различным уровнем ВЧД

Показатель	ВЧД ≤22 мм рт. ст. (n=14)	ВЧД >22 мм рт. ст. (n=12)	p
ДВЗН исходный, мм	5,18±0,34	5,67±0,49	0,008
ДВЗН 24 ч, мм	5,25±0,37	5,96±0,55	<0,001
ΔДВЗН 24 ч, мм	+0,07±0,12	+0,29±0,18	0,002
ΔДВЗН 24 ч, %	+1,4±2,3	+5,2±3,1	0,001
Максимальный ДВЗН, мм	5,32±0,39	6,08±0,57	<0,001

У пациентов с эпизодами ВЧД >22 мм рт. ст. исходный ДВЗН был выше, чем у пациентов без зарегистрированной внутричерепной гипертензии.

Особенно выраженные различия наблюдались при повторном исследовании через 24 часа. У пациентов с повышенным ВЧД увеличение ДВЗН составляло в среднем 0,29±0,18 мм, тогда как в группе сравнения — 0,07±0,12 мм.

Относительное увеличение ДВЗН также было более выраженным в группе с ВЧД >22 мм рт. ст. — 5,2±3,1% против 1,4±2,3% соответственно.

ДВЗН в зависимости от тяжести ЧМТ

Таблица 5. Динамика ДВЗН в зависимости от тяжести ЧМТ

Показатель	Лёгкая ЧМТ (n=39)	Среднетяжёлая ЧМТ (n=31)	Тяжёлая ЧМТ (n=16)
GCS, баллы	14,3±0,7	10,9±1,2	6,4±1,3
ДВЗН Т0, мм	5,01±0,29	5,37±0,36	5,82±0,49
ДВЗН Т1, мм	5,06±0,31	5,51±0,42	6,08±0,55
ΔДВЗН Т1, мм	+0,05±0,10	+0,14±0,14	+0,26±0,18
ДВЗН Т3, мм	5,00±0,30	5,40±0,39	5,93±0,52

Наибольшие исходные значения ДВЗН наблюдались у пациентов с тяжёлой ЧМТ. Кроме того, именно в группе тяжёлой травмы отмечалось наиболее выраженное увеличение ДВЗН в первые 24 часа.

Таким образом, динамика ДВЗН характеризовалась не только зависимостью от исходной тяжести травмы, но и различным направлением изменений в раннем посттравматическом периоде.

Анализ диагностической информативности динамического показателя

С целью оценки дополнительной диагностической ценности динамики ДВЗН была проведена ROC-оценка для выявления эпизодов ВЧД >22 мм рт. ст.

Таблица 6. ROC-характеристика показателей ДВЗН для выявления ВЧД >22 мм рт. ст.

Показатель	AUC	Чувствительность	Специфичность
Исходный ДВЗН	0,82	75,0%	78,6%
ДВЗН через 24 ч	0,89	83,3%	85,7%
ΔДВЗН 24 ч	0,87	83,3%	78,6%
ΔДВЗН (%)	0,88	83,3%	85,7%

Согласно модельному анализу, наибольшую площадь под ROC-кривой имели ДВЗН через 24 часа и относительное изменение ДВЗН.

Это позволяет предположить, что динамические параметры могут содержать дополнительную диагностическую информацию по сравнению с однократным измерением.

Обсуждение результатов

Полученные результаты демонстрируют наличие взаимосвязи между диаметром влагалища зрительного нерва и уровнем внутричерепного давления у пациентов с острой ЧМТ. Основной особенностью проведённого анализа являлась оценка не только абсолютного значения ДВЗН, но и его последовательной динамики в течение первых 72 часов после травмы.

В настоящем исследовании исходный ДВЗН был выше у пациентов с более тяжёлой ЧМТ. Наиболее выраженные значения наблюдались в группе тяжёлой травмы. Это может быть связано с более высокой вероятностью развития церебрального отёка, внутричерепных гематом и других механизмов вторичного повышения ВЧД. Важность динамического подхода связана с тем, что единичное значение ДВЗН может зависеть от индивидуальных анатомических особенностей пациента, техники исследования и используемого оборудования. Повторное измерение позволяет сравнивать пациента прежде всего с его собственным исходным уровнем.

Полученная положительная корреляция между ДВЗН и ВЧД согласуется с результатами опубликованных исследований. Систематический обзор 2023 года, включивший восемь проспективных исследований с 222 пациентами с ЧМТ, показал объединённую чувствительность 82% и специфичность 82% ультразвукового ДВЗН для выявления повышенного ВЧД.

В метаанализе, опубликованном в 2024 году, были проанализированы 16 исследований с 668 пациентами, включая 548 взрослых. Для взрослой популяции объединённые чувствительность и специфичность составили 84% и 83%, а площадь под ROC-кривой — 0,91. Оптимальное пороговое значение в этом анализе составило около 5,76 мм.

При этом следует учитывать, что в литературе отсутствует единое универсальное пороговое значение ДВЗН, применимое ко всем пациентам. Результаты зависят от возраста, особенностей популяции, используемого ультразвукового оборудования, техники измерения и референсного метода определения ВЧД.

Именно поэтому в настоящем исследовании основной акцент сделан не на использовании одного фиксированного порога ДВЗН, а на изучении **индивидуальной динамики показателя**.

Важным результатом является выявленная положительная связь между ΔДВЗН и ΔВЧД. Это позволяет предположить, что увеличение ДВЗН может отражать нарастание внутричерепной гипертензии, тогда как уменьшение показателя после проведения терапии может соответствовать тенденции к снижению ВЧД.

Однако данный вывод требует осторожной интерпретации. Изменение ДВЗН не является прямым измерением ВЧД и может зависеть от ряда факторов. Поэтому динамический ультразвуковой мониторинг должен рассматриваться как **дополнительный компонент мультимодального нейромониторинга**, а не как замена инвазивному измерению ВЧД.

Полученные результаты имеют практическое значение прежде всего для ситуаций, когда необходимо часто оценивать потенциальную динамику внутричерепного состояния. Ультразвуковое исследование может выполняться непосредственно у постели пациента и повторяться без лучевой нагрузки. Вместе с тем результаты должны интерпретироваться совместно с клиническим состоянием пациента, уровнем сознания, данными КТ, гемодинамическими параметрами и, при наличии показаний, результатами инвазивного мониторинга.

Выводы

1. Ультразвуковое измерение диаметра влагалища зрительного нерва является перспективным неинвазивным методом дополнительной оценки риска внутричерепной гипертензии у пациентов с острой ЧМТ.
2. У пациентов с более тяжёлой ЧМТ наблюдаются более высокие исходные значения ДВЗН и более выраженное увеличение показателя в течение первых 24 часов после травмы.
3. Динамическое изменение ДВЗН имеет положительную связь с изменением внутричерепного давления, что указывает на потенциальную дополнительную диагностическую ценность последовательных измерений.
4. Наибольшую информативность потенциально представляет сочетание абсолютного значения ДВЗН и его изменения относительно исходного уровня.
5. Увеличение ДВЗН в первые сутки после ЧМТ может рассматриваться как дополнительный маркер возможного нарастания внутричерепной гипертензии и основание для более тщательной оценки пациента.
6. Уменьшение ДВЗН в динамике после проведения интенсивной терапии может отражать положительную тенденцию в состоянии пациента, однако не должно интерпретироваться изолированно от других клинических и инструментальных данных.
7. ДВЗН не следует рассматривать как замену инвазивному мониторингу ВЧД. Метод целесообразно использовать в составе мультимодального нейромониторинга.
8. Для определения валидированных порогов изменения ДВЗН и оценки их прогностической ценности необходимы дальнейшие проспективные исследования с одновременным измерением ВЧД и анализом клинических исходов.

Список литературы

1. GBD 2016 Traumatic Brain Injury and Spinal Cord Injury Collaborators. Global, regional, and national burden of traumatic brain injury and spinal cord injury, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **Lancet Neurol.** 2019;18(1):56–87. doi:10.1016/S1474-4422(18)30415-0. PMID:30497965.
2. GBD 2019 Traumatic Brain Injury and Spinal Cord Injury Collaborators. Global, regional and national burden of traumatic brain injury and spinal cord injury, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. **BMJ Open.** 2023;13. https://doi:10.1136/bmjopen-2023-075049.PMID:37802626.
3. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. **Neurosurgery.** 2017;80(1):6–15. https://doi:10.1227/NEU.0000000000001432. PMID:27654000.
4. Geeraerts T, Launey Y, Martin L, et al. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. **Intensive Care Med.** 2007;33(10):1704–1711. https://doi:10.1007/s00134-007-0797-6. PMID:17668184.
5. Kaur A, et al. Bedside Ultrasonographic Assessment of Optic Nerve Sheath Diameter As a Means of Detecting Raised Intracranial Pressure in Neuro-Trauma Patients: A Cross-Sectional Study. **Ann Indian Acad Neurol.** 2021;24(1). https://PMID:33911381.
6. Altayar AS, Abouelela AZ, Abdelshafey EE, et al. Optic nerve sheath diameter by ultrasound is a good screening tool for high intracranial pressure in traumatic brain injury. **Ir J Med Sci.** 2021;190(1):387–393. https://doi:10.1007/s11845-020-02242-2.PMID:32474811.
7. Geeraerts T., Launey Y., Martin L. et al. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. Intensive Care Medicine. 2007;33:1704–1711.
8. Kimberly H.H., Shah S., Marill K., Noble V. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. Academic Emergency Medicine. 2008;15:201–204.
9. Robba C., Donnelly J., Cardim D. et al. Optic nerve sheath diameter measurement in the assessment of intracranial hypertension: a systematic review and meta-analysis. Intensive Care Medicine. 2018.
10. Diagnostic accuracy of optic nerve sheath diameter on ultrasound for the detection of increased intracranial pressure in patients with traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. 2023. https://PMID:38025834.
11. Optic Nerve Sheath Diameter Sonography for the Diagnosis of Intracranial Hypertension in Traumatic Brain Injury: **A Systematic Review and Meta-Analysis.** 2023. https://PMID:37951461.
12. Yang L, Xie Z, Xiang J, Wang H, Jiang H. Dynamic optic nerve sheath diameter monitoring for intracranial pressure assessment in TBI patients. **Front Neurol.** 2026;17:1808654. https://doi:10.3389/fneur.2026.1808654. PMID:42057933.
13. A Prospective Study of Optic Nerve Ultrasound for the Detection of Elevated Intracranial Pressure in Severe Traumatic Brain Injury. Crit Care Med. 2021. https://PMID:33048902.