

Вплив декомпресивної краніектомії на внутрішньочерепний тиск у потерпілих із тяжкою черепно-мозковою травмою

А. Г. Сірко^{*A,C,D,F}, В. М. Сук^B, В. М. Сердюк^E, О. Ф. Скрипник^C

ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», м. Дніпро

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Ключові слова:

черепно-мозкова травма, дифузна травма, декомпресивна краніектомія, внутрішньочерепний тиск, внутрішньочерепна гіпертензія, декомпресія хірургічна.

Запорізький

медичний журнал. – 2019. – Т. 21, № 5(116). – С. 610–617

DOI:

10.14739/2310-1210.2019.5.179423

*E-mail:

neurosirko75@gmail.com

Здійснили проспективне дослідження впливу декомпресивної краніектомії (ДК) у потерпілих із тяжкою черепно-мозковою травмою (ТЧМТ) на внутрішньочерепний тиск (ВЧТ) шляхом його безперервного моніторингу під час операції та в післяопераційному періоді.

Мета роботи – вивчити кількісні показники впливу ДК на ВЧТ у пацієнтів із тяжкою ЧМТ шляхом його постійного вимірювання під час та після операції.

Матеріали та методи. У дослідження послідовно включили 75 потерпілих із ТЧМТ (ШКГ під час госпіталізації становила 8 балів і менше), яким виконана ДК і розсічення твердої мозкової оболонки (ТМО) з наступним її пластичним закриттям аутоканинами. Жінок у дослідженні було 14, чоловіків – 61. Виконували широку однобічну лобно-скронево-тім'яну декомпресію. У 64 пацієнтів виконали первинну ДК, у 11 – вторинну. ВЧТ вимірювали за допомогою паренхіматозних датчиків, використовуючи монітор Brain Pressure Monitor REF HDM26.1/FV500 фірми Spiegelberg (Гамбург, ФРН). Інсталяцію датчика ВЧТ здійснили на початку операції. В усіх випадках визначали декомпресивний ефект кожного етапу операції та операції загалом.

Результати. До операції високий ВЧТ спостерігали у 86,7 % постраждалих, після неї – тільки у 24 % ($p < 0,05$). Середній ВЧТ у результаті ДК знижувався з 39 мм рт. ст. до операції до 15,8 мм рт. ст. після операції. Зниження вихідного рівня ВЧТ у середньому становило 59,5 %. Найбільше зниження ВЧТ (на 42,6 %) спостерігали після видалення кісткового клаптя. Розсічення ТМО супроводжувалося додатковим зниженням ВЧТ на 24,7 %.

Висновки. Однобічна широка лобно-скронево-тім'яна краніектомія є ефективним методом тривалого зниження ВЧТ. Застосування ДК вірогідно зменшує частку пацієнтів із внутрішньочерепною гіпертензією. Декомпресивний ефект операції вірогідно не залежить від виду ДК, характеру ушкодження головного мозку та субстрату травматичної компресії.

Влияние декомпресивной краниэктомии на внутричерепное давление у пострадавших с тяжелой черепно-мозговой травмой

А. Г. Сирко, В. М. Сук, В. Н. Сердюк, А. Ф. Скрипник

Ключевые слова:

черепно-мозговая травма, диффузная травма, декомпресивная краниэктомия, внутричерепное давление, внутричерепная гипертензия, декомпрессия хирургическая.

Запорожский

медический журнал. – 2019. – Т. 21, № 5(116). – С. 610–617

Проведено проспективное исследование влияния декомпресивной краниэктомии (ДК) у пострадавших с тяжелой черепно-мозговой травмой (ТЧМТ) на внутричерепное давление (ВЧД) путем его мониторинга во время операции и в послеоперационном периоде.

Цель работы – изучить количественные показатели влияния ДК на ВЧД у пострадавших с ТЧМТ путем его постоянного измерения во время и после операции.

Материалы и методы. В исследование последовательно включены 75 пострадавших с тяжелой ЧМТ (оценка по ШКГ во время госпитализации 8 баллов и менее), которым выполнены ДК и раскрытие твердой оболочки головного мозга (ТОГМ) с последующей ее пластикой. Женщин было 14, мужчин – 61. Выполнена широкая односторонняя лобно-височно-теменная декомпрессия. Первичная ДК выполнена у 64, вторичная – у 11 больных. ВЧД измеряли при помощи паренхиматозных датчиков с использованием монитора Brain Pressure Monitor REF HDM 26.1/FV500 производства Spiegelberg (Гамбург, ФРГ). Датчик ВЧД устанавливали первым этапом операции. Во всех случаях определяли декомпресивный эффект каждого этапа и всей операции в целом.

Результаты. До операции высокое ВЧД установлено у 86,7 % пострадавших, после нее – только у 24 % ($p < 0,05$). Среднее ВЧД в результате ДК снижалось с 39 мм рт. ст. до операции до 15,8 мм рт. ст. после операции, в среднем на 59,5 % от исходного. Наибольшее снижение ВЧД (на 42,6 %) наблюдали после удаления костного лоскута. Раскрытие ТМО сопровождалось дополнительным снижением ВЧД на 24,7 %.

Выводы. Односторонняя широкая лобно-височно-теменная краниэктомия – эффективный метод длительного снижения ВЧД. Применение ДК уменьшает частоту диагностики внутричерепной гипертензии. Декомпресивный эффект операции достоверно не зависит от вида ДК, характера повреждения головного мозга и субстрата травматической компрессии.

The influence of decompressive craniectomy on intracranial pressure in patients with severe traumatic brain injury

A. H. Sirko, V. M. Suk, V. M. Serdiuk, O. F. Skripnik

A prospective study of decompressive craniectomy (DC) influence on intracranial pressure (ICP) in patients with severe traumatic brain injury (TBI) has been performed using intraoperative and postoperative monitoring.

Purpose. To study quantitative indicators of DC influence on ICP in patients with severe TBI through continuous intraoperative and postoperative monitoring.

Materials and methods. A total of 75 patients (14 women and 61 men) with severe TBI (the GCS score at admission was 8 or less) who underwent DC and dura mater opening with further duraplasty were included in the study. A unilateral wide fronto-temporo-parietal decompression was performed. Primary DC was performed in 64 patients. Secondary DC was performed in 11 patients. ICP measurements were carried out using parenchymal sensors on the REF HDM 26.1/FV500 Brain Pressure Monitor (Spiegelberg, Hamburg, Germany). ICP sensor was installed during the first surgery stage. In each case, a decompressive effect of each surgery stage and the entire surgery was assessed.

Results. High ICP was diagnosed in 86.7 % of patients preoperatively and in 24 % of patients ($P < 0.05$) postoperatively. The mean post-DC ICP decreased from 39 mmHg (preoperative) to 15.8 mmHg (postoperative), the average decrease was 59.5 % from the baseline. The largest decrease in ICP by 42.6 % was detected after bone flap removal. Dura mater opening resulted to additional decrease in ICP by 24.7 %.

Conclusions. A unilateral wide fronto-temporo-parietal craniectomy is an effective method for sustainable ICP reduction. DC reduces the percentage of patients with intracranial hypertension. Decompressive effect of a surgery does not significantly depend on DC, brain injury type or traumatic compression substrate.

Key words: traumatic brain injury, diffuse brain injury, decompressive craniectomy, intracranial pressure, intracranial hypertension, surgical decompression.

Zaporozhye medical journal
2019; 21 (5), 610–617

Лікування внутрішньочерепної гіпертензії в потерпілих із тяжкою черепно-мозковою травмою (ТЧМТ) у гострому періоді залишається актуальною та невирішеною проблемою в сучасній нейротравматології. Головне завдання лікування таких пацієнтів полягає в першочерговому видаленні травматичної гематоми, що стискає мозок, із контролем надалі внутрішньочерепного тиску (ВЧТ). Усе це є запорукою запобігання вторинному ушкодженню травмованого мозку. Незважаючи на сучасні методи інтенсивної терапії внутрішньочерепної гіпертензії (ВЧГ), показники летальності та ускладнень при ТЧМТ від вираженого набряку мозку залишаються високими [1,2]. ВЧГ – головний несприятливий прогностичний фактор у потерпілих із ТЧМТ, тому застосування консервативних і хірургічних методів корекції ВЧГ цілком логічне та виправдане.

Згідно з даними численних публікацій, декомпресивна трепанація з розсіченням твердої мозкової оболонки (ТМО) у потерпілих із набряком мозку, що прогресує, – ефективніший метод лікування, ніж інтенсивна терапія [3–6]. У фаховій літературі за останні три десятиліття з'явилися численні наукові повідомлення про як позитивні, так і негативні аспекти декомпресивної краніектомії (ДК) у потерпілих із ЧМТ [7,8]. За рекомендаціями 4 видання Американської асоціації нейрохірургів щодо ведення пацієнтів із черепно-мозковою травмою [9], біфронтальна ДК не рекомендована для поліпшення результатів лікування пацієнтам із тяжкими ЧМТ із дифузними ушкодженнями (без масивних утворень), з оцінкою GOS-E через 6 місяців після отримання травми та з підвищенням ВЧТ до значень >20 мм рт. ст. тривалістю понад 15 хвилин протягом 1-годинного періоду, яке не піддається лікуванню терапією першого ряду (рівень II А рекомендацій). Але показано, що ця процедура знижує ВЧТ і мінімізує тривалість перебування у відділенні інтенсивної терапії. Для зменшення смертності та поліпшення неврологічних результатів під час лікування пацієнтів із тяжкими ЧМТ рекомендована велика лобно-скронево-потилічна ДК (не менше ніж 12×15 см або діаметром 15 см), а не мала лобно-скронево-потилічна ДК.

Незважаючи на результати нещодавно здійсненого дослідження RESCUEicp [10], яке не показало поліпшення віддалених результатів у групі ДК, інтерес до вивчення ефективності ДК не тільки не зменшився, а з кожним роком зростає. Активно вивчають вплив ДК при тяжкій ЧМТ на такі показники, як внутрішньочерепний тиск

(ВЧТ), церебральний перфузійний тиск (ЦПТ), мозкову гемодинаміку (МГ), цереброваскулярну реактивність, оксигенацію мозку, показники летальності та якості життя потерпілих після цієї операції [5,11]. У науковій літературі відсутні відомості про ефективність цієї процедури при дифузній травмі та різних видах вогнищевих ушкоджень головного мозку, а наявні дані включають усю групу потерпілих із тяжкою ЧМТ без поділу її на підвиди. Крім того, не здійснювали порівняння ефективності первинної та вторинної ДК. Усе це спонукало до здійснення статистичного аналізу результатів моніторингу ВЧТ.

Мета роботи

Кількісний аналіз впливу процедури ДК на ВЧТ під час хірургічного втручання в постраждалих із вогнищевими та дифузними травматичними ушкодженнями мозку шляхом його моніторингу в периопераційному періоді.

Матеріали і методи дослідження

У проспективне дослідження залучили 75 постраждалих із тяжкою ЧМТ (оцінювання стану свідомості при надходженні відповідала 3–8 балам за ШКГ), яким виконали ДК і розкриття ТМО. Дослідження виконали у клініці нервових хвороб і нейрохірургії Дніпропетровської медичної академії МОЗ України на базі КЗ «ДОКЛ імені І. І. Мечникова». У дослідження послідовно включили 14 жінок і 61 чоловіка. Вік пацієнтів становив 17–70 років, у середньому – $35,7 \pm 12,4$ року.

Показання до хірургічного втручання: виражений одно- чи двобічний набряк мозку з його вогнищевим ушкодженням; латеральна дислокація понад 10 мм; аксіальна дислокація з компресією обвідної цистерни; численні вогнищеві забої з оточуючим перифокальним набряком. Протипоказання до хірургічного втручання: первинне вкрай тяжке ушкодження стовбура мозку з оцінкою за ШКГ 3 бали за наявності двобічного фіксованого мідріазу.

Розрізняли два види ДК: первинну (профілактичну) і вторинну (лікувальну). Первинна ДК проведена 64 потерпілим, а вторинна – 11. Серед потерпілих, яким виконана первинна ДК, 12 – із дифузною ЧМТ, 52 – із вогнищевими ушкодженнями мозку.

Первинну ДК виконували під час операції з видалення травматичної внутрішньочерепної гематоми.

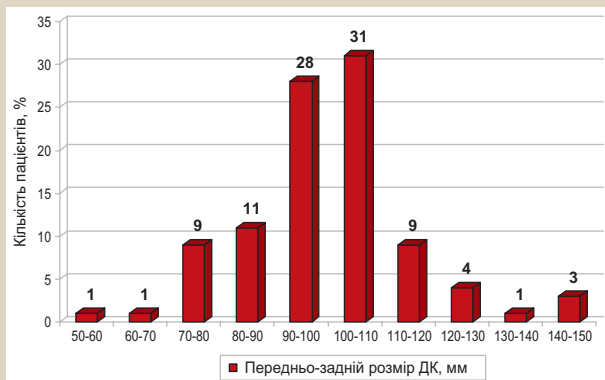


Рис. 1. Поділ спостережень за передньо-заднім розміром ДК.

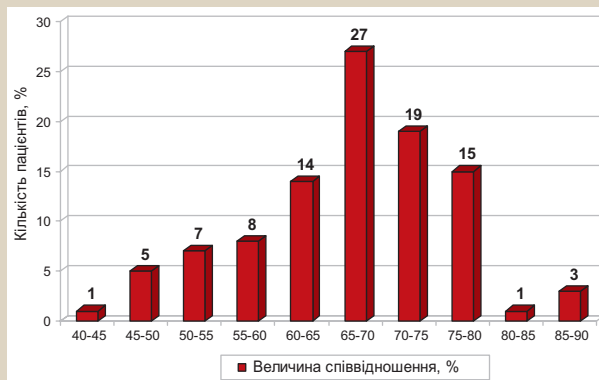


Рис. 2. Розподіл спостережень за величиною співвідношення передньо-заднього розміру ДК, який виміряли на рівні отвору Монро.

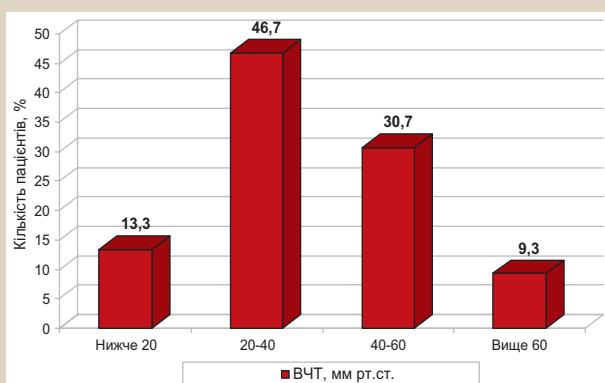


Рис. 3. Розподіл спостережень за рівнем ВЧТ на початку операції.

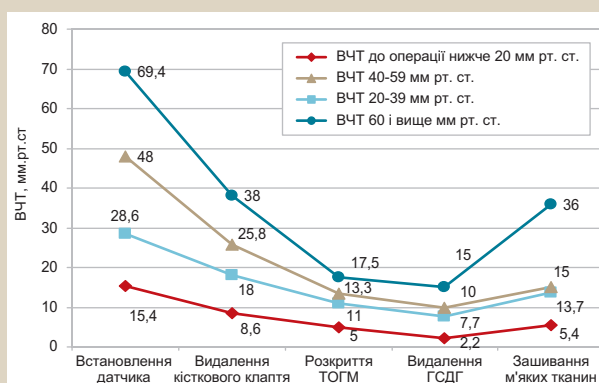


Рис. 4. Динаміка середнього рівня ВЧТ під час ДК у пацієнтів із різним рівнем ВЧТ до операції.

Первинна (профілактична) ДК спрямована на зниження ВЧТ і профілактику його зростання в післяопераційному періоді. Вторинну ДК, як правило, виконували після операцій із видалення гематом, які були здійснені шляхом кістково-пластичної трепанації черепа, а початкова інтенсивна терапія ВЧГ виявилася неефективною.

Операцію зі встановлення паренхіматозного датчика ВЧТ і ДК виконували за розробленою та впровадженою нами методикою [11]. ВЧТ вимірювали на моніторі фірми Spiegelberg (Гамбург, ФРН). Інсталяцію датчика ВЧТ виконали на початку операції. Для аналізу кривої ВЧТ і статистичного аналізу застосовували ліцензійну версію програми, яка була в комплекті з монітором – Spiegelberg collection program (7 версія). Декомпресивний ефект (ДЕ) кожного етапу та всієї операції загалом визначали за розробленою та впровадженою нами у клінічну практику методикою [12,13]. Під час статистичного аналізу застосовували як непараметричні (Краскела–Волліса), так і параметричні методи аналізу (ANOVA). Значення p менше ніж 0,05 вважали статистично вагомими. Кількісні дані в дослідженні наведені як $M \pm SD$.

Результати

Передньо-задній розмір ДК становив 55,8–149,0 мм, у середньому – $100,6 \pm 16,2$ мм (рис. 1). Співвідношення передньо-заднього розміру ДК, який виміряли на рівні отвору Монро, до передньо-заднього розміру черепа на рівні попереднього вимірювання становило

45–87 %, у середньому – $66,5 \pm 9,7$ % (рис. 2). Площа однобічної ДК становила в середньому 98 ± 9 см², об'єм – 107 ± 14 см³.

Тривалість моніторингу ВЧТ у здійсненому дослідженні коливалась від 1 доби до 18 діб, у середньому – $5,8 \pm 3,0$ доби. Отже, загалом записали та проаналізували 10440 годин безперервного вимірювання ВЧТ. Початкові значення ВЧТ (рис. 3) після 5-хвилинного інтервалу з моменту встановлення ВЧТ датчика коливались від 16,0 мм рт. ст. до 82,7 мм рт. ст. Середнє значення початкового ВЧТ у здійсненому дослідженні становило $39,0 \pm 18,1$ мм рт. ст.

Через 10 хвилин після завершення операції фіксували кінцевий показник ВЧТ, який коливався від 2 мм рт. ст. до 67 мм рт. ст. Середні показники кінцевого ВЧТ становили $15,8 \pm 12,4$ мм рт. ст., що вірогідно менше ніж доопераційний рівень ($p < 0,001$). Це зниження ВЧТ було значущим протягом 72 год після ДК ($p < 0,001$). Однак після першого епізоду суттєвого зниження рівня ВЧТ відзначали його повільне підвищення в перші 24–48 годин. Надалі середній рівень ВЧТ залишався на рівні 25 мм рт. ст. До операції ВЧГ спостерігали у 65 (86,7 %) обстежених пацієнтів, а після ДК – тільки у 18 (24 %) хворих. Це є свідченням клінічної ефективності ДК в аспекті зниження ВЧТ. Усі випадки, в яких застосування ДК не дало можливість ліквідувати ВЧГ, були пов'язані з несприятливими результатами лікування.

Вивчили динаміку ВЧТ під час ДК залежно від початкового рівня ВЧТ (рис. 4).

Встановлено, що під час різних етапів ДК виникають односпрямовані зміни ВЧТ незалежно від його початкового рівня. Вираженість цих змін залежить від початкового рівня ВЧТ. У пацієнтів із ВЧТ до операції нижче ніж 40 мм рт. ст. уже на етапі видалення кісткового клаптя відзначали зниження рівня ВЧТ нижче ніж 20 мм рт. ст. У випадку вираженішої ВЧГ (рівень ВЧТ на початку операції понад 40 мм рт. ст.) тільки розкриття ТОГМ спричиняло зниження рівня ВЧТ менше ніж 20 мм рт. ст. У потерпілих із ВЧТ на початку операції нижче ніж 60 мм рт. ст. середній рівень ВЧТ наприкінці операції (після закриття операційної рани) був нижче ніж 20 мм рт. ст. У пацієнтів із ВЧТ на початку операції понад 60 мм рт. ст., незважаючи на виконання ДК, наприкінці операції зберігалася ВЧГ.

Встановили пряму залежність між рівнем ВЧТ на початку операції та висотою випинання ГМ у трепанаційний дефект за даними післяопераційної КТ ($p < 0,05$). Отже, рівень ВЧТ до операції – прогностичний чинник щодо виникнення набряку ГМ після операції (рис. 5).

Величина декомпресивного ефекту операції (ДЕО) в дослідженні коливалася від 103 % до 92 %, у середньому – $59,5 \pm 26,1$ %. Виявили вірогідну залежність між сумарним ДЕО та 3 змінними: середнім артеріальним тиском (САТ) до операції ($p = 0,02$), рівнем ВЧТ після операції ($p < 0,0001$) і динамікою внутрішньочерепних патологічних вогнищ ($p = 0,035$). Між сумарним ДЕО та розмірами ДК вірогідну залежність не встановили; ймовірно, через те, що на ДЕО впливає велика кількість прогностичних чинників. Між рівнем САТ до операції та сумарним ДЕО визначили пряму залежність: чим нижчий САТ до операції, тим вираженіше ішемія та набряк ГМ і, відповідно, ДЕО менший.

Встановили вірогідний зв'язок між рівнем ВЧТ після операції та сумарним ДЕО (рис. 6): чим нижчий рівень ВЧТ після операції, тим більший сумарний ДЕО. Незважаючи на те, що під час обчислення ДЕО використовують також значення ВЧТ на початку операції, не виявили значущий зв'язок між рівнем ВЧТ до операції та ДЕО ($p = 0,29$).

У пацієнтів із більшим ДЕО встановили більшу позитивну динаміку внутрішньочерепних патологічних вогнищ за даними контрольної КТ, із меншим ДЕО – більші залишкові об'єми внутрішньочерепних гематом, виникнення нових гематом і вогнищ ЗГМ.

Підняття кісткового клаптя під час операції призводило до чималого зниження вихідного рівня ВЧТ, у середньому на $42,6 \pm 13,2$ %. При відкритті ТМО ВЧТ додатково знижувався на $24,7 \pm 12,7$ %. Видалення епідуральної гематоми (ЕДГ) в 6 спостереженнях додатково знижувало ВЧТ на 19 ± 10 %, субдуральної гематоми (СДГ) у 44 спостереженнях – на $8,4 \pm 15,9$ %, внутрішньомозкової гематоми (ВМГ) у 12 спостереженнях – на $18,1 \pm 6,1$ %. Герметизація внутрішньочерепного вмісту шляхом зашивання м'яких тканин призводило до зростання показників ВЧТ на $16,4 \pm 13,8$ %.

Порівнювали рівень ВЧТ до та після операції, а також ДЕО в пацієнтів, яким виконали первинну та вторинну ДК, що було основною метою нашого дослідження. Групи хворих вірогідно не відрізнялися за рівнем ВЧТ до та після операції. ВЧТ до операції у групі первинної ДК становив у середньому $39,3 \pm 17,5$ мм рт. ст., у групі вторинної ДК – $37,5 \pm 22,2$ мм рт. ст. ($p > 0,05$). Після пер-

винної ДК ВЧТ дорівнював у середньому $16,3 \pm 12,8$ мм рт. ст., після вторинної ДК – $13,40 \pm 9,92$ мм рт. ст. ($p > 0,05$). Групи хворих також вірогідно не відрізнялися за сумарним ДЕО (рис. 7). Сумарний ДЕО первинної ДК становив у середньому $58,9 \pm 27,0$ %, вторинної – $63,3 \pm 20,5$ % ($p > 0,05$).

Порівняли ДЕО, рівень ВЧТ до та після первинної ДК у хворих із дифузною та вогнищевою ЧМТ. Групи пацієнтів вірогідно не відрізнялися за рівнем ВЧТ до та після операції. ВЧТ до операції в пацієнтів із дифузною ЧМТ становив $41,0 \pm 18,59$ мм рт. ст., з вогнищевою ЧМТ – $38,9 \pm 17,36$ мм рт. ст. ($p = 0,78$). Після операції з приводу дифузної ЧМТ ВЧТ становив $20,1 \pm 18,0$ мм рт. ст., з вогнищевою травмою – $15,4 \pm 11,3$ мм рт. ст. ($p = 0,6$). Групи пацієнтів вірогідно не відрізнялися за сумарним ДЕО, який у хворих із дифузною ЧМТ становив $46,6 \pm 53,2$ %, із вогнищевою – $61,7 \pm 15,7$ % ($p = 0,93$).

Визначення ДЕ кожного з етапів операції у хворих із дифузною ЧМТ має велике значення. Саме в цих пацієнтів можна встановити ефективність зниження ВЧТ шляхом видалення кістки з розкриттям ТМО. У потерпілих із дифузною ЧМТ виключили вплив на ВЧТ видалення травматичних гематом (ЕДГ, СДГ, ВМГ). Отже, аналіз результатів дослідження свідчить, що ДК із розсіченням ТМО – ефективний спосіб зниження високого ВЧТ. Доопераційний рівень ВЧТ у пацієнтів із дифузною ЧМТ становив $41,00 \pm 18,59$ мм рт. ст., післяопераційний – $20,1 \pm 18,0$ мм рт. ст. ($p < 0,05$). ДК при дифузній ЧМТ призвела до зниження ВЧТ на $46,6 \pm 53,2$ %. У 83,3 % потерпілих із дифузною ЧМТ доопераційний рівень ВЧТ перевищував 20 мм рт. ст., а після хірургічного втручання ВЧГ спостерігали тільки у третини потерпілих. Декомпресивний ефект кожного з етапів операції при дифузній ЧМТ наведений на рис. 8.

Найбільше зниження рівня ВЧТ відбувалося під час підняття великого кісткового клаптя після ДК. ВЧТ стрімко знижувався на $42,1 \pm 13,1$ % порівняно з доопераційним рівнем. Широке розсічення ТМО призводило до додаткового зниження ВЧТ на $25,2 \pm 16,1$ %. Закриття рани з зашиванням шкіри призводило до зростання ВЧТ на $18,1 \pm 16,0$ %.

Порівнювали рівень ВЧТ до та після операції, ДЕО та декомпресивний ефект етапів операції (ДЕЕО) в різних підгрупах потерпілих із вогнищевою ЧМТ (табл. 1).

Вірогідні відмінності між підгрупами хворих за декомпресивним ефектом різних етапів операції не виявили. Сумарний ДЕО також не залежав від підтипу вогнищевої ЧМТ. ДЕЕО видалення ЕДГ становив $68,6 \pm 12,9$ %, СДГ – $60,1 \pm 16,4$ %, травматичних внутрішньомозкових вогнищевих ушкоджень (ТВВУ) – $59,8 \pm 14,3$ %, численних внутрішньочерепних вогнищевих ушкоджень (ЧВВУ) – $70,3 \pm 14,4$ % ($p > 0,05$).

Рівень смертності протягом 6 місяців після операції в нашому дослідженні становив 49,3 %. Вегетативний стан виявили у 5,3 % хворих, глибоку інвалідизацію визначили у 6,7 %, помірну інвалідизацію – у 10,7 %; хороше відновлення – у 28 % оперованих хворих. Отже, сприятливий результат лікування (помірна інвалідизація та хороше відновлення) спостерігали у 38,7 % хворих після ДК. Якщо брати до уваги тільки хворих, що вижили, то сприятливі результати лікування спостерігали в 76,3 % пацієнтів.

Таблица 1. Результат декомпресивного ефекту різних етапів операції і рівень ВЧТ у підгрупах потерпілих із вогнищевою ЧМТ

Показник	Підгрупи пацієнтів із вогнищевою ЧМТ				
	ЕДГ	ГСДГ	ТВВУ	ЧВВУ	
ДЕЕО видалення кістки	46,4 ± 12,6	43,4 ± 17,4	35,6 ± 5,0	39,1 ± 9,4	
ДЕЕО видалення ЕДГ	11,9 ± 3,5	–	–	–	
ДЕЕО розкриття ТМО	18,5 ± 7,8	25,7 ± 13,2	23,0 ± 11,9	24,1 ± 12,9	
ДЕЕО видалення ГСДГ	–	9,0 ± 12,5	–	17,3 ± 6,6	
ДЕЕО видалення ВМГ і вогнищ забою ГМ	–	–	22,3 ± 3,1	13,9 ± 5,3	
ДЕЕО пластики ТМО та зашивання м'яких тканин	-14,2 ± 1,1	-18,4 ± 15,1	-14,1 ± 8	-10,8 ± 8,4	
Сумарний ДЕО	68,6 ± 12,9	60,1 ± 16,4	59,8 ± 14,3	70,3 ± 14,4	
Рівень ВЧТ, мм рт. ст.	на початку операції	48,7 ± 19,4	39,2 ± 19,4	35,6 ± 11,9	37,3 ± 11,6
	наприкінці операції	16,2 ± 12,1	16,4 ± 12,8	14,2 ± 7,9	10,8 ± 5,3

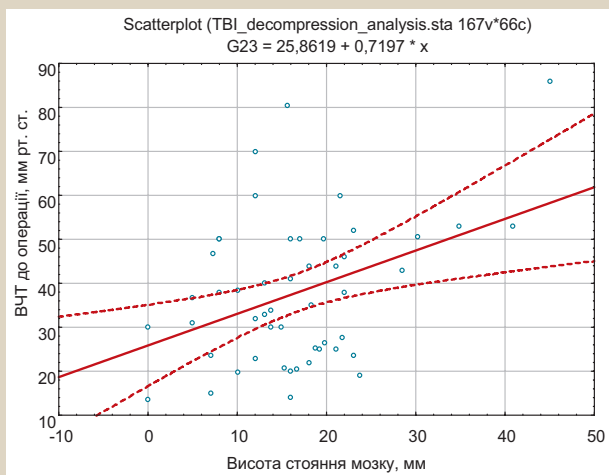


Рис. 5. Залежність висоти випинання ГМ у трепанційний дефект від рівня ВЧТ до операції.

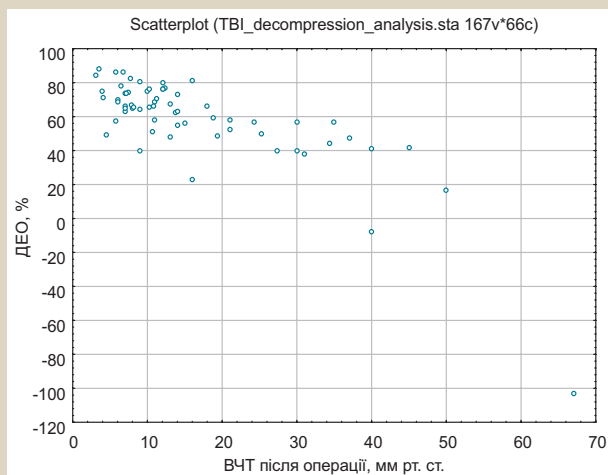


Рис. 6. Залежність ДЕО від рівня ВЧТ після операції.

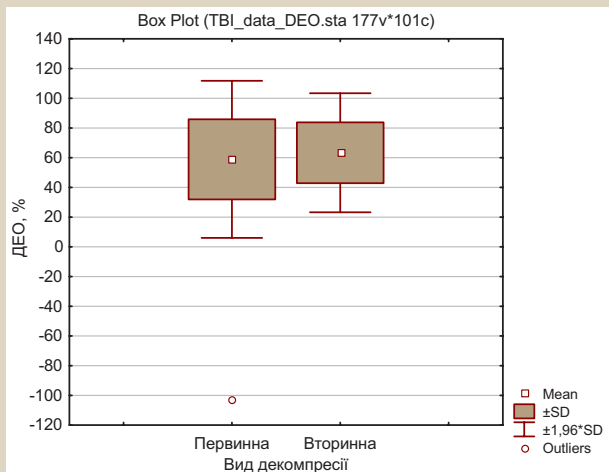


Рис. 7. ДЕО при виконанні первинної та вторинної ДК.

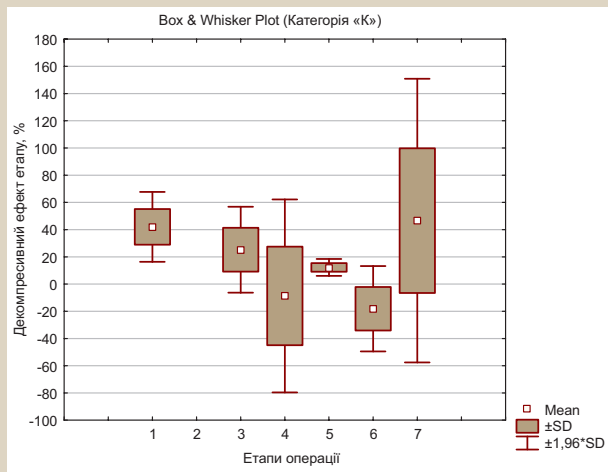


Рис. 8. Декомпресивний ефект різних етапів операції у хворих із дифузною ЧМТ. 1–6 – етапи операції, 7 – загальний ДЕО.

Обговорення

ВЧГ прямо корелює з несприятливими результатами лікування пацієнтів у випадку вираженого післятравматичного набряку мозку [14]. Нині розроблено та впроваджено у клінічну практику велику кількість методів інтенсивної терапії та хірургічних методик корекції ВЧГ, що зумовлена тяжкою ЧМТ. Практичне використання кожної з цих методик має помірний успіх у забезпеченні

адекватного рівня корекції ВЧГ [15,16]. У зв'язку з цим, саме периопераційний моніторинг ВЧТ і його контроль у режимі реального часу є головним завданням у поліпшенні результатів лікування потерпілих із тяжкою ЧМТ. Результати останніх досліджень свідчать, що постійне вимірювання (моніторинг) та адекватна корекція високого ВЧТ дають змогу не лише зменшити показники летальності, але й збільшити частоту одужання потерпілих без залишкового неврологічного дефіциту [14–16].

Водночас церебральний перфузійний тиск (ЦПТ) слід підтримувати на рівні, що достатній для запобігання вторинному ішемічному пошкодженню речовини мозку.

ДК викликає як позитивні, так і негативні патофізіологічні зміни у травмованому головному мозку. З одного боку, ДК із додатковою пластикою ТОГМ у потерпілих із тяжкою ЧМТ дає змогу збільшити об'єм внутрішньочерепного простору для розташування збільшеного внаслідок набряку головного мозку, ліквідувати або зменшити дислокаційний синдром (зменшити величину зміщення серединних структур, покращити візуалізацію мезенцефалічної цистерни), зменшити ВЧТ і ліквідувати внутрішньочерепну гіпертензію, підвищити ЦПТ, поліпшити мозковий кровотік, церебральну перфузію та оксигенацію головного мозку, що підтверджується результатами визначення PbtO₂ та тканинного мікродіалізу як з боку ДК, так і у протилежній півкулі [4,5,7,8,17–27]. З іншого боку, ДК може призвести до наростання набряку головного мозку та збільшення його випинання у трепанаційний дефект, порушення мозкового кровообігу та його ауторегуляції [28–30]. Співвідношення недоліків і переваг ДК визначає кінцевий результат лікування в кожного конкретного хворого.

Систематичний огляд фахової літератури з залученням рандомізованих контрольованих досліджень у результаті метааналізу [6] свідчать, що порівняно з консервативною терапією ДК може значуще зменшити рівень смертності, вірогідно зменшити ВЧТ, зменшити тривалість перебування у відділенні інтенсивної терапії та тривалість перебування в лікарні. Застосовуючи ДК, зростає відсоток ускладнень, а під час оцінювання результатів за шкалою наслідків Глазго через 6 місяців від часу травми не отримали значущу різницю, але в окремих підгрупах хворих застосування ранньої ДК може призвести до поліпшення прогнозу [7,8,22,23,31–35].

У здійсненому дослідженні виконували ДК, що передбачала як основний етап здійснення широкої лобно-скронево-тім'яної краніектомії. ДК виконували в найкоротші строки після виявлення ознак латеральної та/чи аксіальної дислокації. Ця маніпуляція передбачала резекцію скроневої кістки та крила основної кістки для адекватної декомпресії скроневої ділянки мозку та профілактики вклинення мозку. Майже в усіх випадках після розсічення ТМО спостерігали виражений інтраопераційний набряк мозку. Встановлено: ДК є методом лікування, що здатний врятувати життя хворого завдяки тривалому зниженню ВЧТ. Постійне вимірювання (периопераційний моніторинг ВЧТ) дало змогу покрово показати кількісний вплив різних етапів операції на величину ВЧТ. Вважаємо, що цей хірургічний метод варто використовувати для лікування вираженого набряку мозку, який зумовлений різними причинами. Запропонована методика визначення ДЕ різних етапів операції та ДЕО загалом у майбутньому стане корисною під час вивчення ефективності інноваційних методів лікування.

Висновки

1. Однобічна широка лобно-скронево-тім'яна краніектомія є високоефективним методом зниження високого ВЧТ у потерпілих із тяжкою ЧМТ. Її виконання призводить до зменшення частки пацієнтів із ВЧГ від

86,7 % до операції до 24,0 % після операції ($p < 0,05$). Вихідний ВЧТ після ДК зменшувався на $59,5 \pm 26,1$ % – з 39 мм рт. ст. до 15,8 мм рт. ст. Найбільше зниження ВЧТ відзначали на етапі підняття кістки (на $42,6 \pm 13,2$ %) та після розсічення ТМО (на $24,7 \pm 12,7$ %).

3. Декомпресивний ефект операції вірогідно не залежить від виду ДК (первинна, вторинна), характеру ушкодження головного мозку (дифузна чи вогнищева травма) та субстрату травматичної компресії (епідуральна гематома, субдуральна гематома чи внутрішньомозкова гематома).

4. Периопераційний моніторинг ВЧТ дає змогу контролювати ефективність різних етапів хірургічного втручання та визначити необхідність додаткового застосування методів інтенсивної терапії ВЧГ (гіперосмолярні розчини, гіпервентиляція, аналгоседація, гіпотермія тощо).

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу декомпресивної краніектомії на церебральний перфузійний тиск, мозковий кровообіг та якість життя потерпілих із тяжкою черепно-мозковою травмою.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 08.11.2018

Після доопрацювання / Revised: 08.05.2019

Прийнято до друку / Accepted: 13.05.2019

Відомості про авторів:

Сірко А. Г., д-р мед. наук, доцент каф. нервових хвороб і нейрохірургії ФПО, ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», м. Дніпро.

Сук В. М., асистент каф. нервових хвороб і нейрохірургії, ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», м. Дніпро.

Сердюк В. М., д-р мед. наук, професор каф. офтальмології та неврології, ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», м. Дніпро.

Скрипник О. Ф., статистик, ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», м. Дніпро.

Сведения об авторах:

Сирко А. Г., д-р мед. наук, доцент каф. нервных болезней и нейрохирургии ФПО, ГУ «Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины», г. Днепро.

Сук В. М., ассистент каф. нервных болезней и нейрохирургии ФПО, ГУ «Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины», г. Днепро.

Сердюк В. Н., д-р мед. наук, профессор каф. офтальмологии и неврологии, ГУ «Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины», г. Днепро.

Скрипник А. Ф., статистик, ГУ «Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины», г. Днепро.

Information about authors:

Sirko A. H., MD, PhD, DSc, Associate Professor, Department of Nervous Diseases and Neurosurgery, Dnipropetrovsk Medical Academy, Ministry of Healthcare of Ukraine, Dnipro.

Suk V. M., MD, Assistant, Department of Nervous Diseases and Neurosurgery, Dnipropetrovsk Medical Academy, Ministry of Healthcare of Ukraine, Dnipro.

Serdiuk V. M., MD, PhD, DSc, Professor, Department of Ophthalmology and Neurology, Dnipropetrovsk Medical Academy, Ministry of Healthcare of Ukraine, Dnipro.

Skrpnyk O. F., Statistician, Dnipropetrovsk Medical Academy, Ministry of Healthcare of Ukraine, Dnipro.

Список літератури

- [1] Intracranial pressure monitoring in patients with traumatic brain injury / A. Tang, et al. *Intracranial pressure monitoring in patients with traumatic brain injury / Journal of surgical research*. 2015. Vol. 194. Issue 2. P. 565–570. doi: 10.1016/j.jss.2014.11.017
- [2] Temporal profile of intracranial pressure and cerebrovascular reactivity in severe traumatic brain injury and association with fatal outcome: An observational study / H. Adams, et al. *PLoS Med*. 2017. Vol. 14. Issue 7. P. e1002353. doi: 10.1371/journal.pmed.1002353
- [3] Intraoperative intracranial pressure and cerebral perfusion pressure for predicting surgical outcome in severe traumatic brain injury / T. Tsai, et al. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. 2013. Vol. 29. Issue 10. P. 540–546. doi: 10.1016/j.kjms.2013.01.010
- [4] Decompressive craniectomy: a meta-analysis of influences on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in the treatment of traumatic brain injury / E. Bor-Seng-Shu, et al. *J. Neurosurg*. 2012. Vol. 117. Issue 3. P. 589–596. doi: 10.3171/2012.6.JNS101400
- [5] Decompressive craniectomy and head injury: brain morphometry, ICP, cerebral hemodynamics, cerebral microvascular reactivity, and neurochemistry / E. Bor-Seng-Shu, et al. *Neurosurg. Rev*. 2013. Vol. 36. Issue 3. P. 361–370. doi: 10.1007/s10143-013-0453-2
- [6] Decompressive craniectomy in the management of intracranial hypertension after traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis / D. Zhang, et al. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Issue 1. P. 8800. doi: 10.1038/s41598-017-08959-y
- [7] Effective ICP reduction by decompressive craniectomy in patients with severe traumatic brain injury treated by an ICP-targeted therapy / M. Olivetrona, et al. *Journal of neurotrauma*. 2007. Vol. 24. Issue 6. P. 927–935. doi: 10.1089/neu.2005.356E
- [8] Decompressive craniectomy in diffuse traumatic brain injury / D. J. Cooper, et al. *N. Engl. J. Med*. 2011. Vol. 364. Issue 16. P. 1493–1502. doi: 10.1056/NEJMoa1102077
- [9] Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition / N. Carney, et al. *Neurosurgery*. 2016. Vol. 80. Issue 1. P. 6–15. doi: 10.1227/NEU.0000000000001432
- [10] Hutchinson P. Randomised Evaluation of Surgery with Craniectomy for Uncontrollable Elevation of intracranial pressure. 2005. doi: 10.1186/ISRCTN66202560
- [11] Intracranial pressure in patients undergoing decompressive craniectomy: new perspective on thresholds / T. Sauvigny, et al. *J. Neurosurg*. 2017. Vol. 128. Issue 3. P. 819–827. doi: 10.3171/2016.11.JNS162263
- [12] Пат. 54368 Україна, МПК А61В17/00. Спосіб декомпресивної трепанації черепа при патології головного мозку, що супроводжується підвищенням внутрішньочерепного тиску / С. А. Педаченко, Л. А. Дзяк, А. А. Сірко; заявник і патентовласник ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А. П. Ромоданова АМН України». №201004318; заявл. 13.04.10; опубл. 10.11.10. бюл. №21.
- [13] Пат. 54363 Україна, МПК А61В17/00. Спосіб визначення декомпресивного ефекту операції при тяжкій черепномозковій травмі / С. А. Педаченко, Л. А. Дзяк, А. А. Сірко, В. М. Сук; заявник і патентовласник ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А. П. Ромоданова АМН України». №201004312; заявл. 13.04.10; опубл. 10.11.10. бюл. №21.
- [14] ICP management in patients suffering from traumatic brain injury: a systematic review of randomized controlled trials / P. Abraham, et al. *Acta Neurochir*. 2017. Vol. 159. Issue 12. P. 2279–2287. doi: 10.1007/s00701-017-3363-1
- [15] Effects of Intracranial Pressure Monitoring on Mortality in Patients with Severe Traumatic Brain Injury: A Meta-Analysis / L. Shen, et al. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. Issue 12. P. e0168901. doi: 10.1371/journal.pone.0168901
- [16] Impact of intracranial pressure monitoring on prognosis of patients with severe traumatic brain injury: A PRISMA systematic review and meta-analysis / J. Han, et al. *Medicine*. 2016. Vol. 95. Issue 7. P. e2827. doi: 10.1097/MD.0000000000002827
- [17] Bilateral decompressive craniectomy for patients with malignant diffuse brain swelling following severe traumatic brain injury: 37 cases report / Y. H. Bao, et al. *J. Neurotrauma*. 2010. Vol. 27. Issue 2. P. 341–347. doi: 10.1089/neu.2009.1040
- [18] Decompressive craniectomy: surgical control of traumatic intracranial hypertension may improve outcome / B. M. Eberle, et al. *Injury*. 2010. Vol. 41. Issue 9. P. 894–898. doi: 10.1016/j.injury.2010.02.023
- [19] Cerebral oxygenation, vascular reactivity, and neurochemistry following decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury / C. L. Ho, et al. *J. Neurosurg*. 2008. Vol. 108. Issue 5. P. 943–949. doi: 10.3171/JNS/2008/108/5/0943
- [20] Favorable outcome in traumatic brain injury patients with impaired cerebral pressure autoregulation when treated at low cerebral perfusion pressure levels / U. Johnson, et al. *Neurosurgery*. 2011. Vol. 68. Issue 3. P. 714–721. doi: 10.1227/NEU.0b013e3182077313
- [21] Effects of unilateral decompressive craniectomy on patients with unilateral acute posttraumatic brain swelling after severe traumatic brain injury / W. Qiu, et al. *Crit. Care*. 2009. Vol. 13. Issue 6. P. R185. doi: 10.1186/cc8178
- [22] Cerebral blood flow and metabolism following decompressive craniectomy for control of increased intracranial pressure / J. F. Soustiel, et al. *Neurosurgery*. 2010. Vol. 67. Issue 1. P. 65–72. doi: 10.1227/01.neu.0000370604.30037.f5
- [23] A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension / A. Taylor, et al. *Childs. Nerv. Syst*. 2001. Vol. 17. Issue 3. P. 154–162. doi: 10.1007/s003810000410
- [24] Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity in patients with head injury / C. Zweifel, et al. *Neurosurg. Focus*. 2008. Vol. 25. Issue 4. P. E2. doi: 10.3171/FOC.2008.25.10.E2
- [25] Characterization of cerebrovascular reactivity after craniectomy for acute brain injury / E. C. Wang, et al. *Br. J. Neurosurg*. 2006. Vol. 20. Issue 1. P. 24–30. doi: 10.1080/02688690600598257
- [26] Decompressive craniectomy for elevated intracranial pressure and its effect on the cumulative ischemic burden and therapeutic intensity levels after severe traumatic brain injury / G. M. Weiner, et al. *Neurosurgery*. 2010. Vol. 66. Issue 6. P. 1111–1118. doi: 10.1227/01.NEU.0000369607.71913.3E
- [27] Bifrontal decompressive craniectomy in the management of posttraumatic intracranial hypertension / P. C. Whitfield, et al. *Br. J. Neurosurg*. 2007. Vol. 15. Issue 6. P. 500–507. doi: 10.1080/02688690120105110
- [28] Effect of decompressive craniectomy on intracranial pressure and cerebrospinal compensation following traumatic brain injury / I. Timofeev, et al. *J. Neurosurg*. 2008. Vol. 108. Issue 1. P. 66–73. doi: 10.3171/JNS/2008/108/01/0066
- [29] Outcome following decompressive craniectomy for malignant swelling due to severe head injury / B. Aarabi, et al. *J. Neurosurg*. 2006. Vol. 104. Issue 4. P. 469–479. doi: 10.3171/jns.2006.104.4.469
- [30] Cerebral hemodynamic changes gauged by transcranial Doppler ultrasonography in patients with posttraumatic brain swelling treated by surgical decompression / E. Bor-Seng-Shu, et al. *J. Neurosurg*. 2006. Vol. 104. Issue 1. P. 93–100. doi: 10.3171/jns.2006.104.1.93
- [31] Decompressive craniectomy or medical management for refractory intracranial hypertension: an AAST-MIT propensity score analysis / R. Nirula, et al. *The Journal of trauma and acute care surgery*. 2014. Vol. 76. Issue 4. P. 944–952. doi: 10.1097/ta.0000000000000194
- [32] Trial of Decompressive Craniectomy for Traumatic Intracranial Hypertension / P. J. Hutchinson, et al. *The New England Journal of medicine*. 2016. Vol. 375. Issue 12. P. 1119–1130. doi: 10.1056/NEJMoa1605215
- [33] Josan V. A., Sgouros S. Early decompressive craniectomy may be effective in the treatment of refractory intracranial hypertension after traumatic brain injury. *Child's nervous system*. 2006. Vol. 22. Issue 10. P. 1268–1274. doi: 10.1007/s00381-006-0064-0
- [34] Severe traumatic brain injury in children—a single center experience regarding therapy and long-term outcome / U. W. Thomale, et al. *Child's nervous system*. 2010. Vol. 26. Issue 11. P. 1563–1573. doi: 10.1007/s00381-010-1103-4
- [35] Early decompressive craniectomy for neurotrauma: an institutional experience / A. M. Rubiano, et al. *Ulusal travma ve acil cerrahi dergisi*. 2009. Vol. 15. Issue 1. P. 28–38.

References

- [1] Tang, A., Pandit, V., Fenkell, V., Jones, T., Joseph, B., O'Keeffe, T., et al. (2015) Intracranial pressure monitoring in patients with traumatic brain injury. *Journal of surgical research*, 194(2), 565–570. doi: 10.1016/j.jss.2014.11.017
- [2] Adams, H., Donnelly, J., Czosnyka, M., Koliass, A. G., Helmy, A., Menon, D. K., et al. (2017) Temporal profile of intracranial pressure and cerebrovascular reactivity in severe traumatic brain injury and association with fatal outcome: An observational study. *PLoS Med*, 14(7), e1002353. doi: 10.1371/journal.pmed.1002353
- [3] Tsai, T. H., Huang, T. Y., Kung, S. S., Su, Y. F., Hwang, S. L., & Lieu A. S. (2013) Intraoperative intracranial pressure and cerebral perfusion pressure for predicting surgical outcome in severe traumatic brain injury. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 29(10), 540–546. doi: 10.1016/j.kjms.2013.01.010
- [4] Bor-Seng-Shu, E., Figueiredo, E. G., Amorim, R. L. O., Teixeira, M. J., Valbuza, J. S., De Oliveira, M. M., et al. (2012) Decompressive craniectomy: a meta-analysis of influences on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in the treatment of traumatic brain injury. *J. Neurosurg*, 117(3), 589–596. doi: 10.3171/2012.6.JNS101400
- [5] Bor-Seng-Shu, E., Figueiredo, E. G., Fonoff, E. T., Fujimoto, Y., Panerai, R. B., & Teixeira, M. J. (2013) Decompressive craniectomy and head injury: brain morphometry, ICP, cerebral hemodynamics, cerebral microvascular reactivity, and neurochemistry. *Neurosurg. Rev*, 36(3), 361–370. doi: 10.1007/s10143-013-0453-2

- [6] Zhang, D., Xue, Q., Chen, J., Dong, Y., Hou, L., Jiang, Y., & Wang J. (2017) Decompressive craniectomy in the management of intracranial hypertension after traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 7(1), 8800. doi: 10.1038/s41598-017-08959-y
- [7] Olivecrona, M., Rodling-Wahlstrom, M., Naredi, S., & Koskinen, L. D. (2007) Effective ICP reduction by decompressive craniectomy in patients with severe traumatic brain injury treated by an ICP-targeted therapy. *Journal of neurotrauma*, 24(6), 927–935. doi: 10.1089/neu.2005.356E
- [8] Cooper, D. J., Rosenfeld, J. V., Murray, L., Arabi, Y. M., Davies, A. R., D'Urso, P., et al. (2011) Decompressive craniectomy in diffuse traumatic brain injury. *N. Engl. J. Med.*, 364(16), 1493–1502. doi: 10.1056/NEJMoa1102077
- [9] Carney, N., Totten, A. M., O'Reilly, C., Ullman, J. S., Hawryluk, G. W. J., Bell, M. B., et al. (2016) Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery*, 80(1), 6–15. doi: 10.1227/NEU.0000000000001432
- [10] Hutchinson, P. (2005) Randomised Evaluation of Surgery with Craniectomy for Uncontrollable Elevation of intracranial pressure. doi: 10.1186/ISRCTN66202560
- [11] Sauvigny, T., Götsche, J., Czorlich, P., Vettorazzi, E., Westphal, M., & Regelsberger, J. (2017) Intracranial pressure in patients undergoing decompressive craniectomy: new perspective on thresholds. *J. Neurosurg.*, 128(3), 819–827. doi: 10.3171/2016.11.JNS162263
- [12] Pedachenko, Ye. A., Dziak, L. A., Sirko, A. A. (patentee) (2010) Pat. 54368 Ukraina, MPK A61V17/00. Sposib dekompresyynoi trepanatsii cherepa pry patolohii holovnoho mozku, shcho suprovodzhuietsia pidvyshchenniam vnutrishnocherepnoho tysku [Patent 54368 Ukraine, MPK A61V17/00. Method of decompressive trepanation of the skull with pathology of the brain, accompanied by an increase in intracranial pressure]. *Biul.*, 20. [in Ukrainian]
- [13] Pedachenko, Ye. A., Dziak, L. A., Sirko, A. A., Suk, V. M. (patentee) (2010) Pat. 54363 Ukraina, MPK A61V17/00. Sposib vyznachennia dekompresyynoho efektu operatsii pry tiazhkih cherepomozkovii travmi [Patent 54363 Ukraine, MPK A61V17/00. A method for determining the decompression effect of surgery in severe brain injury]. *Biul.*, 21. [in Ukrainian]
- [14] Abraham, P., Rennert, R. C., Gabel, B. C., Sack J. A., Karanjia N., Warmke P., et al. (2017) ICP management in patients suffering from traumatic brain injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Acta Neurochir*, 159(12), 2279–2287. doi: 10.1007/s00701-017-3363-1
- [15] Shen, L., Wang, Z., Su, Z., Qiu, S., Xu, J., Zhou, Y., et al. (2016) Effects of Intracranial Pressure Monitoring on Mortality in Patients with Severe Traumatic Brain Injury: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 11(12), e0168901. doi:10.1371/journal.pone.0168901
- [16] Han, J., Yang, S., Zhang, C., Zhao, M., & Li, A. (2016) Impact of intracranial pressure monitoring on prognosis of patients with severe traumatic brain injury: A PRISMA systematic review and meta-analysis. *Medicine*, 95(7), e2827. doi: 10.1097/MD.0000000000002827
- [17] Bao, Y. H., Liang, Y. M., Gao, G. Y., Pan, Y. H., Luo, Q. Z., & Jiang, J. Y. (2010) Bilateral decompressive craniectomy for patients with malignant diffuse brain swelling following severe traumatic brain injury: 37 cases report. *J. Neurotrauma*, 27(2), 341–347. doi: 10.1089/neu.2009.1040
- [18] Eberle, B. M., Schnüriger, B., Inaba, K., Gruen, J. P., Demetriades, D., & Belzberg H. (2010) Decompressive craniectomy: surgical control of traumatic intracranial hypertension may improve outcome. *Injury*, 41(9), 894–898. doi: 10.1016/j.injury.2010.02.023
- [19] Ho, C. L., Wang, C. M., Lee, K. K., Ng, I., & Ang, B. T. (2008) Cerebral oxygenation, vascular reactivity, and neurochemistry following decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury. *J. Neurosurg*, 108(5), 943–949. doi: 10.3171/JNS/2008/108/5/0943
- [20] Johnson, U., Nilsson, P., Ronne-Engstrom, E., Howells, T., & Enblad P. (2011) Favorable outcome in traumatic brain injury patients with impaired cerebral pressure autoregulation when treated at low cerebral perfusion pressure levels. *Neurosurgery*, 68(3), 714–721. doi: 10.1227/NEU.0b013e3182077313
- [21] Qiu, W., Guo, C., Shen, H., Chen, K., Wen, L., Huang, H., et al. (2009) Effects of unilateral decompressive craniectomy on patients with unilateral acute posttraumatic brain swelling after severe traumatic brain injury. *Crit. Care*, 13(6), R185. doi: 10.1186/cc8178
- [22] Soustiel, J. F., Sviri, G. E., Mahamid, E., Shik, V., Abesha, S., & Zaaroor, M. (2010) Cerebral blood flow and metabolism following decompressive craniectomy for control of increased intracranial pressure. *Neurosurgery*, 67(1), 65–72. doi: 10.1227/01.neu.0000370604.30037.f5
- [23] Taylor, A., Butt, W., Rosenfeld, J., Shann, F., Ditchfield, M., Lewis, E., et al. (2001) A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension. *Childs. Nerv. Syst.*, 17(3), 154–162. doi: 10.1007/s003810000410
- [24] Zweifel, C., Lavinio, A., Steiner, L. A., Radolovich, D., Smielewski, P., Timofeev, I., et al. (2008) Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity in patients with head injury. *Neurosurg. Focus*, 25(4), E2. doi: 10.3171/FOC.2008.25.10.E2
- [25] Wang, E. C., Ang, B. T., Wong, J., Lim, J., & Ng, I. (2006) Characterization of cerebrovascular reactivity after craniectomy for acute brain injury. *Br. J. Neurosurg*, 20(1), 24–30. doi: 10.1080/02688690600598257
- [26] Weiner, G. M., Lacey, M. R., Mackenzie, L., Shah, D. P., Frangos S. G., Grady M.S., et al. (2010) Decompressive craniectomy for elevated intracranial pressure and its effect on the cumulative ischemic burden and therapeutic intensity levels after severe traumatic brain injury. *Neurosurgery*, 66(6), 1111–1118. doi: 10.1227/01.NEU.0000369607.71913.3E
- [27] Whitfield, P. C., Patel, H., Hutchinson, P. J., Czosnyka, M., Parry, D., Menon D., et al. (2007) Bifrontal decompressive craniectomy in the management of posttraumatic intracranial hypertension. *Br. J. Neurosurg.*, 15(6), 500–507. doi: 10.1080/02688690120105110
- [28] Timofeev, I., Czosnyka, M., Nortje, J., Smielewski, P., Kirkpatrick, P., Gupta, A., et al. (2008) Effect of decompressive craniectomy on intracranial pressure and cerebrospinal compensation following traumatic brain injury. *J. Neurosurg.*, 108(1), 66–73. doi: 10.3171/JNS/2008/108/01/0066
- [29] Aarabi, B., Hesdorffer, D. C., Ahn, E. S., Aresco, C., Scalea, T. M., & Eisenberg, H. (2006) Outcome following decompressive craniectomy for malignant swelling due to severe head injury. *J. Neurosurg.*, 104(4), 469–479. doi: 10.3171/jns.2006.104.4.469
- [30] Bor-Seng-Shu, E., Hirsch, R., Teixeira, M. J., De Andrade, A. F., & Marino, R. Jr. (2006) Cerebral hemodynamic changes gauged by transcranial Doppler ultrasonography in patients with posttraumatic brain swelling treated by surgical decompression. *J. Neurosurg.*, 104(1), 93–100. doi: 10.3171/jns.2006.104.1.93
- [31] Nirula, R., Millar, D., Greene, T., McFadden, M., Shah, L., Scalea, T. M., et al. (2014) Decompressive craniectomy or medical management for refractory intracranial hypertension: an AAST-MIT propensity score analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*, 76(4), 944–952. doi: 10.1097/ta.0000000000000194
- [32] Hutchinson, P. J., Koliass, A. G., Timofeev, I. S., Corteen, E. A., Czosnyka, M., Timothy, J., et al. (2016) Trial of Decompressive Craniectomy for Traumatic Intracranial Hypertension. *The New England journal of medicine*, 375(12), 1119–1130. doi: 10.1056/NEJMoa1605215
- [33] Josan, V. A., & Sgouros, S. (2006) Early decompressive craniectomy may be effective in the treatment of refractory intracranial hypertension after traumatic brain injury. *Child's nervous system*, 22(10), 1268–1274. doi: 10.1007/s00381-006-0064-0
- [34] Thomale, U. W., Graetz, D., Vajkoczy, P., & Sarrafzadeh, A. S. (2010) Severe traumatic brain injury in children—a single center experience regarding therapy and long-term outcome. *Child's nervous system*, 26(11), 1563–1573. doi: 10.1007/s00381-010-1103-4
- [35] Rubiano, A. M., Villarreal, W., Hakim, E. J., Aristizabal, J., Hakim, F., Diez, J. C., et al. (2009) Early decompressive craniectomy for neurotrauma: an institutional experience. *Ulusal travma ve acil cerrahi dergisi*, 15(1), 28–38.