

# Monitoring Ενδοκρανιακής Πίεσης

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΤΣΑΝΟΥΛΑΣ, ΧΡΥΣΟΥΛΑ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κείμενο που ακολουθεί αναφέρονται στοιχεία για το monitoring της ενδοκρανιακής πίεσης, υπό το πρίσμα κυρίως των τελευταίων Κατευθυντηρίων Οδηγιών για την αντιμετώπιση των ασθενών με βαριές τραυματικές εγκεφαλικές κακώσεις. Ειδικότερα, μετά την εισαγωγή, αναφέρεται η επιστημονική τεκμηρίωση για το monitoring της ενδοκρανιακής πίεσης (ICP) και γίνεται προσπάθεια να απαντηθούν τα εξής ερωτήματα:

- Ποιοι ασθενείς κινδυνεύουν από ενδοκρανιακή υπέρταση;
- Είναι οι μετρήσεις της ICP χρήσιμες στην αντιμετώπιση κρανιοεγκεφαλικών ασθενών;
- Βελτιώνει η παρακολούθηση της ICP και η κατευθυνόμενη από την ICP θεραπεία, την έκβαση των ασθενών;
- Το monitoring της ICP, αυτό καθαυτό, επηρεάζει την έκβαση;

Ακολουθούν οι συστάσεις για τις φυσιολογικές τιμές της ICP και τους ουδούς που επιτάσσουν τη λήψη θεραπευτικών μέτρων και παρεμβάσεων, ενώ αμέσως μετά παρουσιάζεται η τεχνολογική πλευρά του monitoring της ICP, ιδίως σε σχέση με την ακρίβεια και την αξιοπιστία των συσκευών του monitoring και την ιδανική ενδοκρανιακή θέση των καθετήρων μέτρησης της ICP.

Οι κυριότερες επιπλοκές, σχετιζόμενες με το monitoring της ICP, αναφέρονται στη συνέχεια και στο τέλος του κειμένου παρουσιάζεται μια κατάταξη των συστημάτων μέτρησης της ICP με βάση ιατροτεχνολογικά και οικονομικά κριτήρια.

**Λέξεις Κλειδιά:** Ενδοκράνιος πίεση, ενδοκράνιος υπέρταση, Κρανιοεγκεφαλική κάκωση

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντιμετώπιση των ασθενών με τραυματική εγκεφαλική κάκωση (TEK) είναι, τουλάχιστον θεωρητικά, μία συνεχής διαδικασία που αρχίζει από τον τόπο του ατυχήματος, συνεχίζεται με το πολυπαραγοντικό monitoring της εγκεφαλικής λειτουργίας για την προσαρμογή της θεραπείας στις απαιτήσεις του πληγέντος εγκεφάλου και ολοκληρώνεται με εντατική νευρολογική αποκατάσταση.

Η σοβαρότερη επιπλοκή μετά μια TEK είναι η εγκεφαλική ισχαιμία (ΕΙ). Είναι αποτέλεσμα μεταβολικών και αιμοδυναμικών επιδράσεων και

μπορεί να εξελιχθεί αμέσως ή σε ώρες μετά την TEK. Η πρόληψη της ΕΙ αποτελεί αντικείμενο της νευροτραυματιολογικής εντατικής θεραπείας η οποία ιδεωδώς θα έπρεπε να αρχίζει στον τόπο του ατυχήματος. Η επίπτωση της αρχικής φροντίδας στην έκβαση του ασθενούς είναι πλέον τεκμηριωμένη καθώς και (με άλλοτε άλλο βαθμό τεκμηρίωσης) πολλές από τις διαγνωστικές ή θεραπευτικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται συνήθως σε ασθενείς με TEK.

Το σημαντικότερο επιστημονικό όργανο σε αυτό το επίπεδο είναι το Brain Trauma Foundation,

έναν μη κερδοσκοπικός οργανισμός με στόχο τη βελτίωση της έκβασης ασθενών με ΤΕΚ μέσω της εκπαίδευσης και της κλινικής έρευνας. Ήδη από το 1993 συνέστησε την Head Injury Guidelines Task Force για τη διατύπωση των Οδηγιών, με σύμφωνη γνώμη της Αμερικανικής Ένωσης Νευροχειρουργών (AANS). Ακολουθήθηκε μια λεπτομερής διαδικασία, βασισμένη κυρίως σε επιστημονικά τεκμήρια και εν μέρει σε απόψεις ειδικών. Με την ενεργό εμπλοκή εθνικών και διεθνών ιατρικών εταιρειών (European Brain Injury Consortium, κ.ά.) το Φεβρουάριο του 2000 διατυπώθηκαν οι Κατευθυντήριες Οδηγίες για την αντιμετώπιση των ασθενών με ΤΕΚ<sup>1</sup>. Συμπληρωματικά, το Μάρτιο του 2003 ανακοινώθηκε μια μικρή αναθεώρηση σε ότι αφορά στην πίεση εγκεφαλικής άρδευσης. Οι οδηγίες αφορούν σε ενήλικες ασθενείς με Κλίμακα Κώματος Γλασκόβης (GCS) 3-8 και αξιολογούν παραμέτρους που έχουν επίπτωση στην έκβαση των ασθενών. Το Μάιο του 2007 δημοσιεύθηκε στο Journal of Neurotrauma, ευρεία αναθεώρηση των Κατευθυντηρίων οδηγιών, με διάφορες τροποποιήσεις.<sup>2</sup> Εξακολουθούν να αναφέρονται στον ίδιο πληθυσμό ασθενών, με ίδια βαρύτητα ΤΕΚ.

Με βάση το επίπεδο τεκμηρίωσης οι Οδηγίες χαρακτηρίζονται ως Επιπέδου I, II ή III, αναλόγως εάν προκύπτουν από καλής (I) ή μέτριας ποιότητας (II) τυχαιοποιημένες μελέτες, από καλής ποιότητας σειρές ασθενών (II) ή από χαμηλότερης ποιότητας μελέτες, σειρές και βάσεις δεδομένων ή μητρώα ασθενών (III).<sup>1</sup>

Αντιστοίχως σε ότι αφορά στα παιδιά, με παρόμοια διαδικασία, διατυπώθηκαν τον Ιούλιο του 2003, οι αντίστοιχες Οδηγίες για την Επείγουσα Αντιμετώπιση των σοβαρών ΤΕΚ σε βρέφη, παιδιά και εφήβους.<sup>3</sup>

Ακολουθούν στοιχεία για το monitoring της ενδοκρανιακής πίεσης, υπό το πρίσμα κυρίως των τελευταίων Κατευθυντηρίων Οδηγιών.

## **A. ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ MONITORING ΤΗΣ ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ**

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης I**

Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να υποστηρίξουν θεραπευτικές επιλογές με βεβαιότητα

(standards) σε αυτό το επίπεδο.

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης II**

Η ενδοκρανιακή πίεση πρέπει να ελέγχεται σε όλους τους ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ (GCS 3-8 μετά την αναζωογόνηση) και παθολογική αξονική τομογραφία (CT) εγκεφάλου. Παθολογική, θεωρείται η CT εγκεφάλου η οποία αποκαλύπτει αιματώματα, θλάσεις, οίδημα (εξοίδηση), εγχολεασμό ή συμπίεση των βασικών δεξαμενών.

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης III**

Το monitoring της ενδοκρανιακής πίεσης ενδείκνυται σε ασθενείς με φυσιολογική CT εάν, κατά την εισαγωγή του ασθενούς, ισχύουν δύο ή περισσότεροι από τους εξής παράγοντες κινδύνου:

- η ηλικία του ασθενούς είναι άνω των 40 ετών,
- εμφανίζει μονόπλευρη ή αμφοτερόπλευρη παθολογική κινητική απάντηση,
- έχει συστολική αρτηριακή πίεση (ΑΠ) < 90 mmHg.

## **ΓΕΝΙΚΑ**

Είναι γνωστό, ότι στις ΤΕΚ, μόνο ένα μέρος της βλάβης στο εγκεφαλικό παρέγχυμα προκαλείται κατά την στιγμή του τραυματισμού. Πολυάριθμες δευτερογενείς βλάβες συνεπικουρούν στην αρχική βλάβη τις επόμενες ώρες και μέρες. Μεγάλες σειρές δημοσιευμένων εργασιών, ήδη από το τέλος του 1970 αναφέρουν σημαντική μείωση στη θνητότητα και στη νοσηρότητα ασθενών με ΤΕΚ, με την χρήση πρωτοκόλλων εντατικής παρακολούθησης.<sup>4</sup>

<sup>7</sup> Αυτά τα πρωτόκολλα περιλαμβάνουν:

- πρόωμη διασωλήνωση της τραχείας,
- γρήγορη μεταφορά σε νοσοκομείο με οργανωμένη μονάδα τραύματος,
- κατάλληλη αναζωογόνηση,
- έγκαιρο έλεγχο του εγκεφάλου με αξονική τομογραφία
- άμεση αποσυμφόρηση ενδοκρανιακών αιματωμάτων
- μεταφορά ασθενούς σε Μονάδα Εντατικής Θεραπείας για εντατική παρακολούθηση που περιλαμβάνει και monitoring ενδοκρανιακής πίεσης (intracranial pressure, ICP).

Το σημείο-κλειδί στην παρακολούθηση του κρανιοεγκεφαλικού ασθενή είναι η διατήρηση επαρκούς

κούς πίεσης διήθησης εγκεφάλου, ικανοποιητικής οξυγόνωσης και η αποφυγή απώτερης βλάβης κατά τη διάρκεια της ανάρρωσης του εγκεφάλου. Η ανεπαρκής εγκεφαλική διήθηση συνδυάζεται με χειρότερη έκβαση σε ασθενείς με αρτηριακή υπόταση<sup>8</sup> και σε ασθενείς με ενδοκρανιακή υπέρταση (intracranial hypertension, ICH).<sup>9,10</sup> Η πίεση διήθησης του εγκεφάλου (cerebral perfusion pressure, CPP) είναι ένας έμμεσος δείκτης της εγκεφαλικής αιμάτωσης και ισούται με τη μέση αρτηριακή πίεση (mean arterial pressure, MAP) μείον την ICP. Τιμές πίεσης διήθησης κάτω από 50mmHg σχετίζονται με κακή έκβαση των ασθενών. Ο μόνος τρόπος για αξιόπιστη μέτρηση της CPP και αξιολόγησης της εγκεφαλικής υποάρδευσης είναι η συνεχής παρακολούθηση της ICP και της MAP.<sup>11-14</sup>

Όπως σε όλες τις επεμβατικές μεθόδους, η μέτρηση της ICP έχει κόστος, απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό τόσο για την τοποθέτηση όσο και για τη διατήρηση του καθετήρα αλλά και για την αξιολόγηση των μετρήσεων και την επιλογή της κατάλληλης θεραπείας. Σε κάθε ασθενή με κίνδυνο αύξησης της ενδοκρανιακής πίεσης πρέπει να τοποθετείται καθετήρας μέτρησης ICP. Εκτός των άλλων, αποφεύγονται και οι κίνδυνοι από την εμπειρική θεραπεία της ICH όταν γίνεται χωρίς καταγραφή της ICP.

Τα σημαντικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν σχετικά με την τοποθέτηση καθετήρα ICP σε κρανιοεγκεφαλικούς ασθενείς είναι τα εξής:

1. Ποιοι ασθενείς βρίσκονται σε κίνδυνο ενδοκρανιακής υπέρτασης;
2. Είναι οι μετρήσεις της ICP χρήσιμες για την παρακολούθηση και την πορεία του ασθενούς;
3. Βελτιώνει η παρακολούθηση της ICP και η κατευθυνόμενη από την ICP θεραπεία την έκβαση των ασθενών;
4. Το monitoring της ICP, αυτό καθεαυτό, επηρεάζει την έκβαση;

## ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

### Ποιοι ασθενείς βρίσκονται σε κίνδυνο ενδοκρανιακής υπέρτασης;

Η συσχέτιση μεταξύ ενδοκρανιακής υπέρτασης

και κακής έκβασης σε ασθενείς με βαριά ΤΕΚ, έχει αποδειχθεί σε μεγάλο αριθμό μελετών.<sup>4,6,9,15,16</sup> Κωματώδεις κρανιοεγκεφαλικοί ασθενείς (κλίμακα Γλασκώβης < 9) αποτελούν ομάδα υψηλού κινδύνου για ICH.<sup>9,17</sup> Οι αξονικές τομογραφίες εγκεφάλου κατά την εισαγωγή στο νοσοκομείο, αποτελούν προγνωστικούς δείκτες ICH όπως αποδείχθηκε στην ακόλουθη σειρά μελετών:

Σε μια προοπτική μελέτη του 1982, οι Narayan και συν. μελέτησαν μια σειρά ασθενών με σοβαρή ΤΕΚ και διαπίστωσαν ότι σε κωματώδεις κρανιοεγκεφαλικούς ασθενείς με παθολογική CT εγκεφάλου εισαγωγής, το ποσοστό ICH ήταν 53-63%.<sup>17</sup> Αντιθέτως, ασθενείς με φυσιολογική CT εγκεφάλου εισαγωγής, παρουσίαζαν χαμηλότερο ποσοστό ICH (13%). Πάντως, στην ομάδα των ασθενών με φυσιολογική CT, οι ασθενείς που είχαν τουλάχιστον δύο από τα τρία κρίσιμα χαρακτηριστικά (ηλικία πάνω από 40 έτη, ετερόπλευρη ή αμφοτερόπλευρη παθολογική κινητική απάντηση, ή συστολική πίεση < 90 mmHg) ο κίνδυνος να εμφανίσουν ICH ήταν ο ίδιος με αυτόν των ασθενών με παθολογική CT εγκεφάλου.

Ομοίως και σε άλλες εργασίες, διαπιστώθηκε σχετικά μικρή πιθανότητα ICH σε κρανιοεγκεφαλικούς ασθενείς με φυσιολογική CT εγκεφάλου. Οι Lobato και συν. μελέτησαν ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ που είχαν απόλυτα φυσιολογική CT εγκεφάλου την πρώτη εβδομάδα μετά τον τραυματισμό.<sup>18</sup> Κατέληξαν ότι οι ασθενείς αυτοί "δεν εμφάνισαν επίμονη αύξηση της ICP και επομένως η άμεση μέτρηση της μπορεί να παραληφθεί σε ασθενείς με φυσιολογική CT εγκεφάλου". Παρ' όλα αυτά, επειδή το ένα τρίτο των ασθενών με φυσιολογική αξονική εισαγωγής αναπτύσσουν ενδοκρανιακή παθολογία μέσα στις πρώτες μέρες από τον τραυματισμό, οι συγγραφείς συνιστούν ένα πρωτόκολλο παρακολούθησης με CT εγκεφάλου.

Το 1990, σε μια προοπτική πολυκεντρική μελέτη 753 ασθενών με σοβαρή ΤΕΚ, οι Eisenberg οι συν., διαπίστωσαν ότι οι ασθενείς των οποίων η CT εισαγωγής δεν αναδεικνύει φαινόμενο μάζας, μετατόπιση μέσης γραμμής ή παθολογικές δεξαμενές, έχουν 10-15% πιθανότητα ανάπτυξης ICH.<sup>19</sup> Το 1998, οι Poca και συν., συσχέτισαν την CT εγκεφάλου κατά την εισαγωγή (κατάταξη κατά

Marshall) σε ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ με την πιθανότητα ICH και διαπίστωσαν ότι 3 από τους 94 ασθενείς είχαν διάχυτη βλάβη τύπου I (μη ορατή ενδοκρανιακή παθολογία στην CT εγκεφάλου).<sup>20</sup>

Σε μια άλλη αναδρομική μελέτη του 2004, οι Miller και συν. μελέτησαν 82 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ χωρίς εικόνα συλλογής.<sup>13</sup> Ευρήματα της CT εγκεφάλου ενδεικτικά μετατόπισης της μέσης γραμμής ή αλλοιώσεων στις βασικές δεξαμενές, εξάλειψης των κοιλιών, πίεσης των επιμήκων δομών του εγκεφάλου και έντονης αντίθεση λευκής/φαιάς ουσίας δεν συσχετίστηκαν αρχικά με υψηλή ICP αν και υπήρξε συσχέτιση με πιο όψιμες υψηλές τιμές ICP.

Οι Lee και συν.(1998) μελέτησαν την σχέση μεταξύ ICH και διάχυτης αξονικής βλάβης (diffuse axonal injury, DAI) σε 660 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ.<sup>21</sup> Τριάντα έξι ασθενείς παρουσίασαν διάχυτη αξονική βλάβη. Οι ασθενείς ήταν ήπια υπεραεριζόμενοι και η ωριαία καταγραφή των τιμών της ICP έδειξε τιμές που δεν ξεπερνούσαν τα 20mmHg, στο 90% των μετρήσεων. Δέκα από τους ασθενείς με DAI είχαν όλες τις τιμές ICP μικρότερες από 20 mmHg ενώ οι υπόλοιποι 26 είχαν τιμές πάνω από 20mmHg και τέσσερις μάλιστα πάνω από 40mmHg (σε συνδυασμό με πυρετό). Τέσσερις ασθενείς πέθαναν και αυτό συνδυάστηκε με τη βαρύτητα της DAI.

Υπάρχει σαφώς μικρότερη πιθανότητα ICH σε ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ αλλά απολύτως φυσιολογικές CT εγκεφάλου εισαγωγής και επανελέγχου και χωρίς συνοδούς παράγοντες κινδύνου. Παθολογικές CT είναι σε άλλοτε άλλο βαθμό ενδεικτικές ICH, εκτός εάν η CT εμφανίζει σοβαρή ενδοκρανιακή παθολογία, οπότε η ICH είναι βέβαιη.

### **Είναι οι μετρήσεις της ICP χρήσιμες στην αντιμετώπιση ασθενών με ΤΕΚ;**

Τα στοιχεία του monitoring της ICP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- Την πρόβλεψη της έκβασης και της επιδείνωσης της ενδοκρανιακής παθολογίας
- Τον υπολογισμό και έλεγχο της πίεσης διήθη-

σης εγκεφάλου (CPP)

- Τη θεραπευτική παροχέτευση ENY με ενδοκοιλιακούς καθετήρες μέτρησης της ICP
- Τον περιορισμό δυνητικά επικίνδυνων ή βλαπτικών θεραπειών μείωσης της ICP

Η ICP είναι ένας ισχυρός προγνωστικός δείκτης της έκβασης ασθενών με ΤΕΚ και οι προτεινόμενοι θεραπευτικοί ουδοί βασίζονται σε αυτό το γεγονός.<sup>5,6,9,16</sup>

Η μέτρηση της ICP μπορεί να αποτελέσει τον πρώτο δείκτη επιβάρυνσης της ενδοκρανιακής παθολογίας και χειρουργικά παροχετεύσιμων βλαβών. Το 2002, οι Servadei και συν. μελέτησαν 110 διαδοχικούς ασθενείς με σοβαρή τραυματική υπαραχνοειδή αιμορραγία εκ των οποίων οι 31 ασθενείς είχαν ΤΕΚ και monitoring της ICP.<sup>22</sup> Αποδείχθηκε ότι η ICP, ήταν ο πρώτος δείκτης εξελισσόμενων βλαβών στο 20% των σοβαρών ΤΕΚ. Τέσσερις στις πέντε από αυτές τις βλάβες αντιμετωπίστηκαν χειρουργικά.

Ο έλεγχος της CPP δεν μπορεί να γίνει χωρίς την άμεση μέτρηση της ICP και της μέσης αρτηριακής πίεσης (MAP). Η CPP χρησιμοποιείται για θεραπευτικές παρεμβάσεις που αφορούν τόσο στη MAP όσο και στην ICP.

Η εμπειρική θεραπεία της ICP χωρίς άμεση μέτρηση δεν είναι άμοιρη κινδύνων. Ο παρατεταμένος υπεραερισμός επιδεινώνει την έκβαση<sup>23</sup> και ελαττώνει σημαντικά την εγκεφαλική αιματική ροή όπως εκτιμάται από τον κορεσμό οξυγόνου της αιμοσφαιρίνης του φλεβικού αίματος (SjvO<sub>2</sub>).<sup>24,25</sup> Η παρατεταμένη παράλυση/μυοχαλαση αυξάνει τις πιθανότητες πνευμονίας και παρατείνει την παραμονή στην ΜΕΘ.<sup>26</sup> Τα βαρβιτουρικά λόγω της υπότασης που προκαλούν δεν προτείνονται για προφυλακτική/εμπειρική χορήγηση<sup>27</sup>. Η χορήγηση μαννιτόλης έχει κυμαινόμενη επίδραση τόσο στη μείωση της ICP όσο και στην διάρκεια διατήρησης αυτής της μείωσης.<sup>28,29</sup>

Τα στοιχεία του monitoring της ICP είναι χρήσιμα για την πρόγνωση και την κατεύθυνση της θεραπείας.



### **Βελτιώνει η παρακολούθηση της ICP και η κατευθυνόμενη από την ICP θεραπεία την έκβαση των ασθενών;**

Είναι μάλλον απίθανο ή ηθικώς μη αποδεκτό να πραγματοποιηθεί τυχαιοποιημένη μελέτη αξιολόγησης του monitoring της ICP με ή χωρίς θεραπεία. Παρομοίως, δεν μπορεί να μελετηθεί η επίπτωση της αντιμετώπισης ή μη, της συστηματικής υπότασης. Αμφότερες, και η υπόταση και η αυξημένη ICP είναι οι κύριες αιτίες θανάτου στις σοβαρές ΤΕΚ, γι' αυτό γίνονται θεραπευτικές παρεμβάσεις ακόμα και με την κλινική υποψία και χωρίς να υπάρχει συνεχές monitoring της ΑΠ ή της ICP. Το σημαντικό ερώτημα όμως παραμένει, αντανάκλα η ICH μια μη αναστρέψιμη, εξελισσόμενη παθολογική κατάσταση που εμφανίζεται από την ώρα της κάκωσης; Απάντηση σε αυτό το ερώτημα μπορεί να δώσει η έκβαση των ασθενών με ΤΕΚ που απάντησαν ικανοποιητικά στις θεραπευτικές παρεμβάσεις για ελάττωση της ICP.

Σε πολυκεντρική μελέτη των Eisenberg και συν. μελετήθηκε η χρήση της φαινοβαρβιτάλης για την θεραπεία ασθενών με υψηλή ICP, ανθιστάμενη σε όλες τις υπόλοιπες θεραπείες.<sup>30</sup> Παρατήρησαν ότι οι ασθενείς των οποίων η ICP απαντούσε στη θεραπεία, είχαν πολύ καλύτερη έκβαση από τους ασθενείς στους οποίους δεν απαντούσε.

Οι Saul and Ducker, μελέτησαν προοπτικά 127 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ που αντιμετωπίστηκαν με μαννιτόλη και παροχέτευση ENY, με στόχο ICP 20-25mmHg και τους συνέκριναν με 106 ασθενείς με την ίδια βλάβη αλλά στους οποίους η ICP διατηρούνταν σε χαμηλότερα επίπεδα (15mmHg).<sup>31</sup> Παρατηρήθηκε ότι οι ασθενείς της δεύτερης ομάδας είχαν μια σημαντική μείωση στην θνητότητα σε σχέση με τους ασθενείς της πρώτης ομάδας.

Σε μια τρίτη μελέτη οι Howells και συν. παρατήρησαν ότι οι ασθενείς που απαντούσαν στην θεραπεία με στόχο τη CPP, που συμπεριελάμβανε την ICP, είχαν καλύτερη έκβαση.<sup>32</sup> Μελέτησαν 64 ασθενείς στους οποίους γινόταν θεραπευτικές παρεμβάσεις ανάλογα με την πίεση διήθησης του εγκεφάλου (CPP>70 και ICP<25mmHg). Οι ασθενείς με άθικτο μηχανισμό εγκεφαλικής αυτορρύθμισης που ανταποκρίθηκαν στο πρώτο-

κόλλο βελτίωσης της CPP, μέσω ελάττωσης της ICP είχαν στατιστικά σημαντικά καλύτερη έκβαση από τους ασθενείς με καταργημένο τον μηχανισμό αυτορρύθμισης (δηλ. παθητική άνοδος της ICP στην προσπάθεια αύξησης της CPP).

Η αποσυμφορητική κρανιεκτομή για την ICH συνδέεται με καλύτερη έκβαση στους ασθενείς που αποφέρει ελάττωση της ICP. Οι Aarabi και συν. μελέτησαν 50 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ, 40 εκ των οποίων είχαν ανθεκτική ICH και αντιμετωπίστηκαν με αποσυμφορητική κρανιεκτομή, η οποία οδήγησε σε σημαντική ελάττωση της ICP από μια μέση τιμή 24mmHg στα 14mmHg.<sup>33</sup> Στους ασθενείς που επιβίωσαν τις πρώτες 30 ημέρες (n=39) η έκβαση ήταν καλή (Glasgow Outcome Scale score [GOS] 4 ή 5) στο 51.3%. Παρόμοια αποτελέσματα ανακοινώθηκαν και από τους Timofeen και συν. σε 49 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ και ICH που υποβλήθηκαν σε αποσυμφορητική κρανιεκτομή.<sup>34</sup>

### **Το monitoring της ICP, αυτό καθ'αυτό (per se), επηρεάζει την έκβαση;**

Υπάρχουν πλέον σοβαρά επιστημονικά δεδομένα που υποστηρίζουν τη χρήση monitoring της ICP σε ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ και πιθανή ICH. Η ICH δεν μπορεί να εκτιμηθεί αξιόπιστα μόνο από την αξονική τομογραφία εγκεφάλου. Οι μετρήσεις της ICP είναι χρήσιμες για την πρόγνωση της έκβασης και τον καθορισμό της θεραπείας των ασθενών με σοβαρή ΤΕΚ. Υπάρχει σαφής βελτίωση στην έκβαση των ασθενών που ανταποκρίνονται στην θεραπεία ελάττωσης της ICP, καθιστώντας το monitoring της ICP απαραίτητο. Θεραπεία της ICH χωρίς monitoring, μπορεί να έχει ολέθρια αποτελέσματα και να οδηγήσει σε κακή έκβαση.

Οι Cremer και συν., ανέλυσαν αναδρομικά δύο ομάδες ασθενών με σοβαρή ΤΕΚ, οι οποίες αντιμετωπίστηκαν σε δύο διαφορετικά κέντρα τραύματος και διέφεραν μόνον ως προς τη χρήση monitoring της ICP.<sup>35</sup> Το ένα κέντρο συμπεριελάμβανε 122 ασθενείς χωρίς monitoring της ICP αλλά με χορήγηση αγωγής για μείωση της ICH (82% καταστολή και μυοχάλαση, 25% μαννιτόλη, 22% υπεραιρισμός και 2% κοιλιακή παροχέτευση του ENY), ενώ το άλλο κέντρο συμπεριελάμβανε 211 ασθενείς με σοβαρή ΤΕΚ, στο 67% των οποίων

τοποθετήθηκε καθετήρας ICP και χορηγούνταν θεραπεία ανάλογα με τις τιμές της. Το δεύτερο κέντρο, βασιζόμενο στην ICP, χρειάστηκε να παρέμβει θεραπευτικά πολύ περισσότερο από το πρώτο, εκτός από τον υπεραερισμό και την κοιλιακή παροχέτευση ENY, που χρησιμοποιήθηκαν ισότιμα. Στην μελέτη αυτή, δεν παρατηρήθηκε διαφορά στην θνητότητα ούτε στην νευρολογική έκβαση 12 μήνες μετά τον τραυματισμό. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα επιδέχονται κριτική επειδή υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Συγκεκριμένα, στην ομάδα των ασθενών με το monitoring της ICP, περιλαμβάνονταν ασθενείς με υπόταση κατά την έναρξη του monitoring, ενώ στην ομάδα χωρίς ICP monitoring, συμπεριλήφθηκαν ασθενείς που είχαν μεταφερθεί από άλλα νοσοκομεία.

Τα πρωτόκολλα που περιλαμβάνουν monitoring της ICP καθώς και άλλες μορφές εξειδικευμένου monitoring της εγκεφαλικής λειτουργίας έχουν αποδείξει βελτιωμένη έκβαση συγκρινόμενα με περιόδους όπου η θεραπεία των ασθενών δεν ακολουθούσε κάποιο πρωτόκολλο.<sup>7,36,37</sup> Επιπροσθέτως, η συχνότητα χρήσης monitoring της ICP σε διάφορα τραυματιολογικά κέντρα συνδυάστηκε με καλύτερα αποτελέσματα έκβασης των ασθενών.<sup>38,39</sup>

Το monitoring της ICP δεν έχει αποδειχθεί να έχει άμεση επίπτωση στην έκβαση των ασθενών με ΤΕΚ, αλλά αυτό δεν είναι πλέον ζητούμενο να τεκμηριωθεί. Έχει όμως αποδειχθεί ότι οι ασθενείς που δεν έχουν ενδοκρανιακή υπέρταση (ICH) ή οι ασθενείς που ανταποκρίνονται στις θεραπείες ελάττωσης της ICP, έχουν χαμηλότερη θνητότητα σε σχέση με αυτούς που εμφανίζουν ανθεκτική ICH.

## **B. ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΚΗ ΠΙΕΣΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ / ΟΥΔΟΙ**

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης I**

Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να υποστηρίξουν θεραπευτικές επιλογές με βεβαιότητα (standards) σε αυτό το επίπεδο.

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης II**

Η θεραπεία της ενδοκρανιακής υπέρτασης πρέπει να ξεκινά από τιμές ICP > 20 mmHg

### **Επίπεδο τεκμηρίωσης III**

Οι τιμές της ICP, η κλινική εξέταση και τα ευρήματα από την CT εγκεφάλου πρέπει να συνεκτιμώνται ώστε να αποφασιστεί εάν ο ασθενής με σοβαρή ΤΕΚ, χρήζει θεραπείας.

## **ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**

Η επίδραση της ICP στην έκβαση των ασθενών με σοβαρή ΤΕΚ καθορίζεται από τον καιρίο ρόλο της στην πίεση εγκεφαλικής διήθησης (CPP) και επίσης αποτελεί δείκτη ύπαρξης "χωροκατακτητικής" εξεργασίας στο εγκεφαλικό παρέγχυμα.

Δεν υπάρχουν πολυκεντρικές τυχαιοποιημένες μελέτες που να συγκρίνουν μεταξύ τους, θεραπευτικούς ουδούς αντιμετώπισης της ICP. Η μεγαλύτερη μελέτη που έγινε πάνω στις ιδανικές τιμές ICP, αναλύοντας προοπτικά ένα μεγάλο αριθμό προγνωστικών παραγόντων, έδειξε ότι τιμή ICP > 20mmHg έχει την καλύτερη προγνωστική αξία.<sup>9</sup>

Οι παραπάνω τιμές υποστηρίζονται και από μια σειρά μικρότερων μελετών, με μια διακύμανση ICP από 15 έως 25mmHg.<sup>5,17,31,40</sup> Σε μια εργασία των Saul και Ducker, όταν η ανώτερη ανεκτή "φυσιολογική" τιμή της ICP μειώθηκε από 25 στο 15mmHg, σε δυο συνεχόμενες σειρές ασθενών, βρέθηκε μείωση της θνητότητας από 46% στο 28%<sup>31</sup>. Λόγω όμως διαφορών στα πρωτόκολλα θεραπείας στους ανωτέρω ασθενείς, δεν κατέστη δυνατόν να αποσαφηνιστεί η ανεξάρτητη επίπτωση της ελάττωσης της ICP, στην συνολική έκβαση των ασθενών.

Οι Shreider και συν. σε μελέτη 233 ασθενών με ΤΕΚ και ICH διαπίστωσαν ότι ICP > 15mmHg αποτελεί έναν από τους πέντε ανεξάρτητους παράγοντες που σχετίζονται με τον θάνατο των ασθενών.<sup>40</sup>

Μια μόνο προοπτική, διπλή-τυφλή, placebo-controlled μελέτη, των Eisenberg και συν., απέδειξε βελτιωμένη έκβαση ασθενών αποδιδόμενη στην ελάττωση της ICP.<sup>30</sup> Στην μελέτη αυτή, οι θεραπευτικοί ουδοί της ICP ήταν 25mmHg σε ασθενείς

χωρίς κρανιεκτομή και 15mmHg σε ασθενείς μετά από κρανιεκτομή.

Μια άλλη μικρή προοπτική μελέτη 27 ασθενών προσδιόρισε τα αποτελέσματα της θεραπείας της ICP σε δύο ομάδες ασθενών: στην πρώτη ομάδα η ιδανική τιμή της ICP ήταν 20mmHg και στην δεύτερη 25mmHg. Δόθηκε η κατάλληλη θεραπεία σε όλους τους ασθενείς ώστε να διατηρούν  $CPP > 70\text{mmHg}$  και  $SjO_2 > 54\%$ . Οι ερευνητές δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην εξάμηνη νευρολογική έκβαση ή στην εξάμηνη επιβίωση των ασθενών αυτών.<sup>41</sup>

Οι ασθενείς με TEK μπορεί να εγχολεάσουν και σε τιμές ICP μικρότερες από 20-25mmHg. Η πιθανότητα εγχολεασμού εξαρτάται από την περιοχή της ενδοκρανιακής παθολογίας.<sup>42,43</sup> Σε μια μελέτη των Marshall και συν., ανωμαλίες των κορών των οφθαλμών παρατηρήθηκαν και σε τιμές ICP μέχρι και 18mmHg<sup>43</sup>. Είναι σημαντικό λοιπόν, κάθε επιλεγμένη τιμή θεραπευτικού ουδού της ICP, να συνδυάζεται συνεχώς με την κλινική εικόνα και την CT εγκεφάλου του κάθε ασθενή.

Αντιθέτως, η ενδοκρανιακή πίεση στην οποία οι ασθενείς με TEK αρχίζουν να εμφανίζουν σημεία νευρολογικής επιδείνωσης μπορεί να είναι και σε τιμές μεγαλύτερες από 20-25mmHg. Υπάρχουν δεδομένα ότι ICP μεγαλύτερη από 20mmHg μπορεί να γίνει ανεκτή σε ασθενείς με ελάχιστα ή καθόλου σημεία εγκεφαλικής βλάβης στην CT εγκεφάλου.<sup>12</sup>

Τα νεότερα δεδομένα υποστηρίζουν ότι τιμή της ICP 20-25mmHg είναι το ανώτερο φυσιολογικό όριο πάνω από το οποίο πρέπει να ξεκινά η θεραπεία ελάττωσης της ICP σε ασθενείς με ICH.

### Ερωτήματα για το μέλλον

Η "ιδεώδης" τιμή ICP και η αλληλεπίδραση της με την CPP και άλλες παραμέτρους (π.χ.  $SjO_2$ , εγκεφαλική αιματική ροή) είναι ένα καίριο αλλά προς το παρόν αναπάντητο ερώτημα. Στο πέρας των ετών έχει προκύψει μια σειρά άλλων παραμέτρων, ανεξάρτητων της ICP, σχετιζόμενων με την έκβαση των ασθενών. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα η απόλυτη τιμή, αυτή καθαυτή της ICP, να μην έχει πια τη βαρύνουσα σημασία που είχε στο

παρελθόν. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ο καθορισμός της ICP που σχετίζεται με τον κίνδυνο εγχολεασμού, και που φαίνεται ότι μεταβάλλεται μεταξύ των ασθενών κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Δύο σημαντικά βήματα, για την αναγνώριση των τιμών εκείνων της ICP που χρήζουν θεραπευτικής αντιμετώπισης, είναι:

- Ανάπτυξη μιας μεθόδου που θα μπορούσε να καθορίσει την "ICP εγχολεασμού"
- Καθορισμός των κρίσιμων τιμών των υπολοίπων παραμέτρων που καθορίζουν την εγκεφαλική λειτουργία.

### Γ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ MONITORING ΤΗΣ ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Στους ασθενείς στους οποίους ενδείκνυται το monitoring της ICP, οφείλουμε τεκμηριωμένα να απαντήσουμε στο ερώτημα ποιο είδος monitoring θα επιλέξουμε. Ως ιδανική συσκευή monitoring ορίζεται αυτή που είναι ακριβής, αξιόπιστη, οικονομική για αυτό που προσφέρει και προκαλεί ελάχιστη νοσηρότητα στον ασθενή στον οποίο τοποθετείται.

Στις ΗΠΑ έχουν δημοσιευθεί εθνικές κατευθυντήριες οδηγίες για τις συσκευές monitoring της ICP σε συνεργασία με την Ένωση Νευροχειρουργών.<sup>44</sup> Ο σκοπός αυτών των οδηγιών είναι να καθορίσουν τα χαρακτηριστικά ασφάλειας και λειτουργίας των monitors και να ελέγχουν τις μεθόδους monitoring ώστε να προσφέρουν μια αξιόπιστη και αποτελεσματική μέτρηση της ICP. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες, μία συσκευή/monitor της ICP πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Διαβάθμιση πίεσης 0 - 100 mmHg
- Ακρίβεια  $\pm 2\text{mmHg}$  σε μια κλίμακα 0 - 20 mmHg
- Μέγιστο αποδεκτό λάθος 10% σε μια κλίμακα 20 - 100 mmHg

Γενικά, τα σύγχρονα ICP monitors επιτρέπουν τη μέτρηση της ICP μέσω εξωτερικού συστήματος μέτρησης, μέσω ινοπτικών καθετήρων ή μέσω καθετήρων με πιεζοηλεκτρικό σύστημα.

Σύμφωνα με τα τελευταία τεχνολογικά δεδομένα, ο ενδοκοιλιακός καθετήρας που συνδέεται με ένα εξωτερικό σύστημα μέτρησης αποτελεί την πιο

αξιόπιστη, χαμηλού κόστους και ακριβή μέθοδο monitoring της ICP. Έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι μπορεί να βαθμονομηθεί *in situ*, αλλά και να χρησιμοποιείται για την θεραπευτική παροχέτευση του ENY, σε περίπτωση ICH.

Οι καθετήρες με εξωτερικό σύστημα μέτρησης επικοινωνούν με τον ενδοκρανιακό χώρο του ασθενούς μέσω σωληναρίων γεμάτων με υγρό (υδραυλικοί καθετήρες) σε αντίθεση με τους καθετήρες με τεχνολογία μορφομετατροπέα (transducer) στην άκρη του καθετήρα οι οποίοι τοποθετούνται κατευθείαν ενδοκρανιακά. Οι πρώτοι, είναι αξιόπιστοι<sup>45</sup>, μπορούν να επαναβαθμονομηθούν αλλά οποιαδήποτε στάση του υγρού ή απόφραξη των σωληναρίων μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις. Επιπλέον, το εξωτερικό σύστημα μετατροπής των καθετήρων αυτών τοποθετείται εξωτερικά και πρέπει να είναι σε ένα σταθερό σημείο αναφοράς σε σχέση με τη θέση της κεφαλής του ασθενούς προκειμένου να αποφευχθούν ανακρίβειες στις μετρήσεις. Συνήθως, το σημείο αυτό είναι στο ύψος του έξω ακουστικού πόρου του ασθενούς, επειδή τοπογραφικά αυτός βρίσκεται στο ίδιο ύψος με την IIIη κοιλία του εγκεφάλου.

Η μέτρηση της ICP μέσω ινοπτικού καθετήρα ή πιεζοηλεκτρικού συστήματος με μικροαισθητήρα μέτρησης που τοποθετείται (ενσωματώνεται) στους ενδοκοιλιακούς καθετήρες, παρέχει πλεονεκτήματα αλλά επιβαρύνει σημαντικά το κόστος νοσηλείας των ασθενών.

Οι παρεγχυματικοί ICP ινοπτικοί καθετήρες ή οι καθετήρες με πιεζοηλεκτρικό σύστημα πρέπει να βαθμονομούνται πριν την τοποθέτησή τους ενδοκρανιακά και δεν μπορούν να επαναβαθμονομηθούν άπαξ και έχουν εισαχθεί. Προφανώς, εάν ο καθετήρας μετακινηθεί και δεν επαναβαθμονομηθεί, υπάρχει πιθανότητα αναξιόπιστων μετρήσεων.

Οι παρεγχυματικοί καθετήρες που χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικό σύστημα μετατροπής του σήματος, έχουν αμελητέα απόκλιση που είναι ανεξάρτητη από την διάρκεια του monitoring.

Οι υπαραχνοειδείς, υποσκληρίδιοι και επισκληρίδιοι καθετήρες είναι λιγότερο αξιόπιστοι.

## ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

### Ακρίβεια και αξιοπιστία των συσκευών monitoring της ICP.

Η ισχυρότερη τεκμηρίωση για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των monitors της ICP προέρχεται από καλά σχεδιασμένες μελέτες, με μεγάλες σειρές ασθενών, που συγκρίνουν ταυτόχρονα καταγραφές των monitors με ένα καθιερωμένο σύστημα αναφοράς. Ο ενδοκοιλιακός καθετήρας με εξωτερικό σύστημα μέτρησης αποτελεί το πιο αξιόπιστο και καθιερωμένο (standard) monitoring μέτρησης της ICP.<sup>46</sup> Υπάρχουν 14 μελέτες που συγκρίνουν το ενδοκοιλιακό σύστημα μέτρησης με τις υπόλοιπες μεθόδους σε ένα σύνολο 273 ασθενών με ΤΕΚ.<sup>47-60</sup> Στις μελέτες αυτές τόσο η θέση μεταγωγής του σήματος της ICP όσο και ο αριθμός των ασθενών που περιελάμβανε κάθε μελέτη, ποικίλλουν. Λόγω της ταχείας τεχνολογικής εξέλιξης στις συσκευές μέτρησης της ICP, αξιολογήθηκαν εκτενώς οι πλέον πρόσφατες μελέτες.

Τέσσερις μελέτες συνέκριναν τις τιμές του κλασικού εξωτερικού συστήματος μέτρησης με τις τιμές που καταγράφονταν από τους παρεγχυματικούς καθετήρες με πιεζοηλεκτρικό σύστημα μέτρησης.<sup>51,55,56,60</sup> Μία από αυτές τις μελέτες 51 έδειξε απόκλιση εντός του εύρους των 2 mmHg σε σχέση με το σύστημα αναφοράς. Άλλες τέσσερις μελέτες που συνέκριναν το εξωτερικό σύστημα μέτρησης της ICP με ινοπτικούς καθετήρες μέτρησης, διαπίστωσαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δύο μετρήσεων.<sup>50,54,58,59</sup>

Η ακρίβεια των μετρήσεων των monitors ICP ελέγχθηκε με την σύγκριση της καταγραφόμενης τιμής την στιγμή αφαίρεσης του καθετήρα με την μηδενική ατμοσφαιρική τιμή (όπου ο βαθμός της διαφοράς αντανάκλα την απόκλιση).<sup>45,51,61-67</sup> Δύο από τις μελέτες αυτές απέδειξαν ακρίβεια στις μετρήσεις με καθετήρες πιεζοηλεκτρικού συστήματος πίεσης,<sup>51,62</sup> και έξι μελέτες την ακρίβεια στις μετρήσεις με ινοπτικούς καθετήρες.<sup>61,63-67</sup> Να σημειωθεί επίσης ότι υπήρξε σημαντική ανάπτυξη στην τεχνολογία των ινοπτικών καθετήρων από το 1999 και μετά, αλλά οι μελέτες που προαναφέρθηκαν αφορούν σειρές ασθενών που έφεραν ινοπτικούς καθετήρες παλαιότερης τεχνολογίας. Σε 153 μεμονωμένες παρεγχυματικές μετρήσεις, λιγότερο



του 1% είχε απόκλιση  $\pm 5$  mmHg, όταν συγκριθί-  
κε με μηδενική ατμοσφαιρική πίεση κατά τη στιγ-  
μή της αφαίρεσης του καθετήρα.<sup>51,62</sup>

### Ιδανική ενδοκρανιακή θέση του monitor ICP.

Η συσκευή μέτρησης της ICP μπορεί να τοποθε-  
τηθεί επισκληριδίως, υποσκληριδίως, υπαραχνοει-  
δώς, ενδοπαρεγχυματικά ή ενδοκοιλιακά. Ιστορι-  
κά, η ενδοκοιλιακή ενδοκρανιακή πίεση χρησιμο-  
ποιήθηκε ευρέως ως αναφορά για την σύγκριση  
της ακρίβειας των μετρήσεων σε άλλες περιοχές  
τοποθέτησης. Οι πιθανοί κίνδυνοι από την ενδο-  
κοιλιακή τοποθέτηση όπως λοίμωξη, αιμορραγία,  
απόφραξη και λανθασμένη θέση τοποθέτησης,  
οδήγησαν σε άλλες εναλλακτικές θέσεις για  
μέτρηση της ICP. Οι πιο πρόσφατες οδηγίες, όσον  
αφορά στη θέση τοποθέτησης του καθετήρα ICP,  
είναι οι παρακάτω:

- Η ενδοκοιλιακή τοποθέτηση του καθετήρα  
μέτρησης της ICP αποτελεί θέση αναφοράς.<sup>44,47-53,  
55-58, 60,62-64,68-71</sup>
- Η μέτρηση της ICP μέσω ενδοπαρεγχυματικού  
καθετήρα με πιεζοηλεκτρικό σύστημα μέτρησης  
είναι παρόμοιας ακρίβειας με τη μέτρηση μέσω  
ενδοκοιλιακών καθετήρων. Μερικοί ερευνητές  
διαπίστωσαν ότι οι τιμές μέτρησης της ICP με  
υποσκληριδίους και ενδοπαρεγχυματικούς ινοπι-  
κούς καθετήρες δεν συσχετίζονται απόλυτα καλά  
με τις τιμές από τους ενδοκοιλιακούς καθετήρες  
(Σημειωτέον ότι δεν υπάρχουν μελέτες με τους  
πρόσφατα διαθέσιμους ινοπτικούς καθετήρες).<sup>59,  
63-67</sup>
- Υδραυλικοί επισκληριδίοι καθετήρες ή οι υπα-  
ραχνοειδείς κοχλίες<sup>44,68,52,53,70,72,73</sup> όπως και αεροκί-  
νητες επισκληριδίες συσκευές είναι λιγότερο  
ακριβείς μέθοδοι μέτρησης σε σχέση με τους ενδο-  
κοιλιακούς καθετήρες.<sup>49,57,69</sup> Τέλος, σημαντικές  
διαφορές στις μετρήσεις έχουν αναφερθεί μεταξύ  
καθετήρων μέτρησης της ICP που τοποθετήθηκαν  
ενδοπαρεγχυματικά και αυτών που τοποθετήθη-  
καν στον υποσκληριδίο χώρο.<sup>74</sup>  
Στον πίνακα 1 υπάρχει μια συνοπτική αναφορά  
των διαθέσιμων συσκευών και καθετήρων μέτρη-  
σης της ICP.

## Δ. ΕΠΙΠΛΟΚΕΣ ΤΟΥ MONITORING ΤΗΣ ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι επιπλοκές του monitoring της ICP περιλαμβά-  
νουν λοίμωξη, αιμορραγία, κακή λειτουργία, από-  
φραξη ή κακή τοποθέτηση. Παρότι η τρέχουσα  
βιβλιογραφία προτείνει ότι μακροπρόθεσμα,  
αυτές οι επιπλοκές δεν προκαλούν αυξημένη  
νοσηρότητα, μπορούν ωστόσο να οδηγήσουν σε  
λανθασμένη καταγραφή της ICP και να αυξήσουν  
το κόστος νοσηλείας λόγω ανάγκης επανατοποθέ-  
τησης των καθετήρων.

### Λοίμωξη

#### Επίπεδο τεκμηρίωσης III

Δεν χρειάζεται προφυλακτική αντιμικροβιακή  
αγωγή ή αντικατάσταση ρουτίνας του ενδοκοιλια-  
κού καθετήρα, για να μειωθεί η πιθανότητα εμφά-  
νισης λοίμωξης.

Η συχνότητα των λοιμώξεων σχετιζόμενων με  
συστήματα μέτρησης ICP αναφέρεται ως <1%-  
27%,<sup>75</sup> αλλά αυτό εξαρτάται από τη μέθοδο επιβε-  
βαίωσης της λοίμωξης. Ο αποικισμός των κοιλο-  
στομιών είναι ευκολότερο να ανιχνευθεί λόγω της  
δυνατότητας δειγμάτων ENY. Πρακτικά, λίγες  
μελέτες έχουν αποτελέσματα καλλιέργειών  
συσκευών μέτρησης ICP μετά την αφαίρεσή τους.  
Όταν συγκρίνεται ο μικροβιακός αποικισμός  
αυτών των συσκευών, ο ενδοκοιλιακός καθετήρας  
εμφανίζει επιμόλυνση (με καλλιέργεια του ENY)  
κατά μέσο όρο 8% και ο παρεγχυματικός (με καλ-  
λιέργεια του άκρου του καθετήρα) 14%.<sup>76</sup> Διάφο-  
ροι παράγοντες έχει φανεί ότι επηρεάζουν τον  
κίνδυνο επιμόλυνσης του καθετήρα της κοιλιосто-  
μίας, όπως: διάρκεια παραμονής του καθετήρα,  
προφυλακτική χορήγηση αντιβιοτικών, ταυτόχρο-  
νη παρουσία άλλων συστηματικών λοιμώξεων,  
παρουσία ενδοκοιλιακής ή υπαραχνοειδούς  
αιμορραγίας, ανοικτό κάταγμα κρανίου, συμπερι-  
λαμβανομένων των καταγμάτων της βάσης του  
κρανίου με διαρροή ENY, διαρροή πέριξ του  
καθετήρα της κοιλιостоμίας, και η έκπλυση  
(flushing) των σωληνώσεων της κοιλιостоμίας.<sup>75,77-  
85</sup>

Η προφυλακτική αντικατάσταση των καθετήρων  
μέτρησης της ICP, μετά από διάστημα παραμονής  
5 ημερών, είχε θεωρηθεί ως μέθοδος μείωσης του  
συνολικού βαθμού επιμόλυνσης. Ο Winfield και  
συν.<sup>84</sup> ανέλυσαν τον αθροιστικό κίνδυνο λοίμωξης

<b>Θέση καθετήρα</b>	<b>Μέθοδος μετάδοσης σήματος πίεσης</b>	<b>Περιγραφή προϊόντος</b>
<b>Ενδοκοιλιακός</b>	Υδραυλικό σύστημα με εξωτερικό σύστημα παροχέτευσης	Γενικός (generic) Ενδοκοιλιακός καθετήρας Εξωτερικός σάκος παροχέτευσης Abbott Transpac IV transducer
	Υδραυλικό σύστημα με πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα στην άκρη του καθετήρα	Codman: External CSF drainage bag Microsensor ventricular kit Monitor
	Υδραυλικό σύστημα με ινοπτικό σύστημα μετάδοσης	Integra Neuroscience: External CSF drainage bag Microventricular pressure monitoring kit Multiparametric MPM-1
	Αεροκίνητο σύστημα	Spiegelberg
<b>Ενδοπαρεγχυματικός</b>	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας στην άκρη του καθετήρα	Codman: Microsensor parenchymal kit Monitor
	Ινοπτικός καθετήρας	Integra Neuroscience: Microparenchymal pressure monitoring kit Multiparametric MPM-1
	Αεροκίνητο σύστημα	Spiegelberg
<b>Υπαραχνοειδής</b>	Υδραυλικό σύστημα	Γενικός (generic) Ενδοκοιλιακός καθετήρας Abbott Transpac IV transducer
<b>Υποσκληρίδιος</b>	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας στην άκρη του καθετήρα	Codman: Microsensor ventricular kit Monitor
	Ινοπτικός καθετήρας	Integra Neuroscience: Microventricular pressure monitoring kit Multiparametric MPM-1
	Υδραυλικό σύστημα	Γενικός (generic) Abbott Transpac IV transducer
<b>Επισκληρίδιος</b>	Υδραυλικό σύστημα	Γενικός (generic) Abbott Transpac IV transducer
	Αεροκίνητο σύστημα	Spiegelberg

**Πίνακας 1.** Συνοπτική αναφορά των διαθέσιμων συσκευών και συστημάτων μέτρησης της ICP.

σε σχέση με τη διάρκεια παραμονής του καθετήρα. Σε 184 monitors, για διάστημα 12 ετών, βρέθηκαν ότι ο ημερήσιος ρυθμός λοίμωξης ήταν λιγότερος του 2% για την περίοδο του monitoring. Καμία συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε μεταξύ ημερήσιου ποσοστού λοίμωξης και διάρκειας παραμονής του καθετήρα. Η ηλικία, η νοσοκομειακή τοποθέτηση του καθετήρα και η διάγνωση (τραυματικής ή μη αιτιολογίας) δεν είχαν επίσης καμία επίπτωση στο ποσοστό λοίμωξης. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η προφυλακτική αντικατάσταση των καθετήρων ήταν επουσιώδους σημασίας.

Η προφυλακτική χορήγηση αντιβιοτικών μελετήθηκε επίσης σχετικά με τους καθετήρες της ICP.<sup>77,78,86-89</sup> Ο Sundbarg και συν.<sup>89</sup> ανέλυσαν 648 ασθενείς οι οποίοι υπέστησαν παρατεταμένη (περισσότερο από 24 ώρες) ενδοκοιλιακή παροχέτευση, από τους οποίους οι 142 είχαν υποστεί βαριά ΤΕΚ. Κανείς τους δεν είχε λάβει προφυλακτικά αντιβιοτικά, αλλά 76% έλαβε αντιβιοτικά για συστηματικές νόσους. Παρότι οι ασθενείς με ΤΕΚ δεν είχαν θετικές καλλιέργειες ΕΝΥ, εντούτοις εμφάνισαν το υψηλότερο ποσοστό άλλων λοιμώξεων μεταξύ όλων των ασθενών που μελετήθηκαν.

Διάφορες μελέτες, που συμπεριέλαβαν και σημαντικό αριθμό ασθενών μη τραυματικής αιτιολογίας, έθεσαν το ερώτημα της ανάγκης προφυλακτικής χορήγησης αντιβιοτικών σε ασθενείς με εξωτερική κοιλιοστομία. Ο Aucoin και συν. έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο ρυθμό λοίμωξης μεταξύ ασθενών που αντιμετωπίστηκαν με ή χωρίς αντιβιοτικά κατά τη διάρκεια ή περί τη διάρκεια της τοποθέτησης του καθετήρα.<sup>77</sup> Πάντως, οι ασθενείς στους οποίους γινόταν συστηματική έκπλυση με βακιτρακίνη για διατήρηση της βατότητας, εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερους ρυθμούς λοίμωξης (18% έναντι 5.7%). Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών.<sup>86,88</sup>

Μια πολυκεντρική, τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη (RCT), των Zambranski και συν. μελέτησε τη δράση καθετήρων εμποτισμένων με αντιβιοτικά (μυνοκυκλίνη και ριφαμπικίνη) σε ότι αφορά στον αποικισμό των καθετήρων και στη λοίμωξη του ΕΝΥ.<sup>85</sup> Οι καθετήρες αυτού του είδους έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τα θετικά κατά Gram

βακτηρίδια, και ειδικότερα τα είδη του σταφυλόκοκκου. Μεταξύ 288 ασθενών (37 εκ των οποίων ήταν ασθενείς με ΤΕΚ και δεν αναλύθηκαν χωριστά), σημειώθηκε μια σημαντική διαφορά στη συχνότητα λοίμωξης προς όφελος των εμποτισμένων καθετήρων έναντι των κοινών (1.3% έναντι 9.4%). Επίσης η συχνότητα αποικισμού ήταν σημαντικά μειωμένη (17.9% έναντι 36.7%) με όλες τις θετικές καλλιέργειες να είναι ευαίσθητες στη μιννοκυκλίνη. Παρόλα αυτά, σημειώθηκε ένας μικρός βαθμός ανθεκτικότητας στη ριφαμπικίνη. Γενικά, οι καθετήρες αυτού του είδους κρίθηκαν ασφαλείς και αποτελεσματικοί στη μείωση του ποσοστού λοιμώξεων.

Η καλή κλινική πρακτική επιτάσσει την τοποθέτηση ενδοκοιλιακών ή άλλων καθετήρων μέτρησης ICP με αποστειρωμένες συνθήκες, με κλειστά συστήματα παροχέτευσης και ελάχιστους χειρισμούς και εκπλύσεις. Δεν υποστηρίζεται η συστηματική αντικατάσταση των καθετήρων για πρόληψη λοιμώξεων του ΕΝΥ. Δεν υποστηρίζεται με κανένα δεδομένο, η ανάγκη παρατεταμένης χορήγησης αντιβιοτικών για συστηματική προφύλαξη σε διασωληνωμένους ασθενείς με ΤΕΚ, δεδομένου του κινδύνου ανάπτυξης ανθεκτικών στελεχών.

### Αιμορραγία

Στην πλειονότητα των δημοσιεύσεων, δύσκολα θα μπορούσε κανείς να εντοπίσει "αιμορραγία σχετιζόμενη με παρουσία καθετήρα μέτρησης ICP", ειδικά με όρους όπως μέγεθος αιματώματος στην CT εγκεφάλου ή νοσηρότητα. Υπάρχουν οκτώ δημοσιεύσεις σχετικά με αιματώματα σχετιζόμενα με κοιλιοστομίες, οι οποίες αναφέρουν ένα μέσο όρο συχνότητας 1.1%,<sup>17,64,89-94</sup> ενώ μόνο ένα άρθρο αναφέρει αιμορραγίες σχετιζόμενες με υποσκληρίδιους κοχλίες (καθόλου αιματώματα), υποσκληρίδιους καθετήρες (καθόλου αιματώματα)<sup>92</sup>, και πιεζοηλεκτρικούς καθετήρες (τρία αιματώματα σε 28 ασθενείς, 11%).<sup>51</sup> Δεν υπάρχουν νεότερες του 1999 δημοσιεύσεις σχετικά με τη συχνότητα επιπλοκών των βελτιωμένων ινοπτικών καθετήρων. Σημαντικά αιματώματα, που απαιτούν

χειρουργική εκκένωση καταγράφηκαν σε 0.5% των ασθενών σε δημοσιευμένες αναφορές με περισσότερους από 200 ασθενείς με monitoring της ICP.<sup>17, 59,93</sup>

### Κακή λειτουργία

Προβληματική λειτουργία ή απόφραξη των υδραυλικών ενδοκοιλιακών καθετήρων, υπαραχνοειδών κοχλιών, ή υποσκληριδίων καθετήρων έχει αναφερθεί σε ποσοστά έως 6.3%, 16% και

10.5% αντιστοίχως.<sup>44,61,92</sup> Δεν υπάρχουν νεότερες του 1999 δημοσιεύσεις σχετικά με τη συχνότητα αυτής της επιπλοκής των βελτιωμένων ινοπτικών καθετήρων. Προβληματική λειτουργία των ενδοπαρεγχυματικών καθετήρων με πιεζοηλεκτρικό σύστημα μέτρησης, δεν έχει επίσης αναφερθεί (0%).<sup>51,62</sup>

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, κάθε τύπος αγωγής του σήματος και θέσης του συστήματος

Θέση καθετήρα	Μέθοδος μετάδοσης σήματος ICP	Ακρίβεια	Επαναβαθμ/ση	Εκτιμώμενο κόστος το 2005 σε δολάρια
Ενδοκοιλιακός	1 Υδραυλικό σύστημα εξωτερικής παροχέτευσης	+	+	208
	2 Υδραυλικό σύστημα με πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα	+	+	600
	3 Υδραυλικό σύστημα με ινοπτική μετάδοση	n/a	+	450
Ενδοπαρεγχυματικός	4 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας	+	-	600
	5 Ινοπτικός καθετήρας	n/a	-	450
Υπαραχνοειδής	6 Υδραυλικό σύστημα	-	+	53
Υποσκληρίδιος	7 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας	-	-	600
	8 Ινοπτικός καθετήρας	n/a	-	450
	9 Υδραυλικό σύστημα	-	+	53
Επισκληρίδιος	10 Υδραυλικό σύστημα	-	+	85
	Αεροκίνητο σύστημα	-	+	n/a

**Πίνακας 2.** Κατάταξη συστημάτων μέτρησης ICP με βάση την ακρίβεια των μετρήσεων, τη δυνατότητα επαναβαθμολογίας και το κόστος. Να σημειωθεί ότι από το 1999, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στον τομέα της κατασκευής και του ελέγχου αυτών των συστημάτων, η οποία όμως ακόμη δεν έχει αποτελέσει αντικείμενο δημοσιευμένων ερευνών (n/a, data non available, δεν υπάρχουν στοιχεία).



monitoring, έχει το δικό του προφίλ πιθανών επιπλοκών. Η βαθμονόμηση, η παρακολούθηση για πιθανή επιμόλυνση και ο έλεγχος για απόφραξη του αυλού των υδραυλικών καθετήρων μέτρησης είναι αναγκαία καθήκοντα για τη διατήρηση ενός βέλτιστου συστήματος monitoring της ICP.

### Ε. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ICP

Με βάση την ακρίβεια των μετρήσεων, την αξιοπιστία και το κόστος (σε δολάρια Η.Π.Α., σε σχέση με το αναλώσιμο υλικό, χωρίς να ληφθεί υπόψη το κόστος προμήθειας μόνιμου εξοπλισμού- monitors), τα συστήματα μέτρησης της ICP κατατάσσονται ιεραρχικά ως εξής (πιν 2):

1. **Ενδοκοιλιακές συσκευές** - υδραυλικό καθετήρες με εξωτερικό σύστημα μέτρησης
2. **Ενδοκοιλιακές συσκευές** - πιεζοηλεκτρικοί ή ινοπτικοί καθετήρες
3. **Παρεγχυματικοί καθετήρες** με ενσωματωμένο μορφομετατροπέα (transducer) πίεσης (ICP)
4. **Υποσκληρίδιοι καθετήρες**
5. **Υπαραχνοειδείς υδραυλικόι καθετήρες**
6. **Επισκληρίδιες συσκευές**

Σε ασθενείς που υπόκεινται σε monitoring της ICP, ο ενδοκοιλιακός καθετήρας συνδεδεμένος με εξωτερικό σύστημα μέτρησης είναι ο πιο αξιόπιστος και ανταποδοτικός τρόπος μέτρησης. Κλινικά σημαντικές λοιμώξεις ή αιμορραγίες λόγω monitoring της ICP, τέτοιες που να προκαλούν νοσηρότητα είναι σπάνιες και δεν θα πρέπει να αποθαρρύνουν την απόφαση για μέτρηση της ICP.

Οι παρεγχυματικοί καθετήρες καταγράφουν την ICP παρόμοια με τους ενδοκοιλιακούς αλλά δυνητικά μπορεί να εμφανίζουν αποκλίσεις λόγω αδυναμίας επαναβαθμονόμησης. Αυτοί οι καθετήρες προτιμώνται όταν δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση ενδοκοιλιακών ή υπάρχει απόφραξη στο σύστημα παροχέτευσης. Οι υπαραχνοειδείς ή υποσκληρίδιοι υδραυλικόι καθετήρες καθώς και οι επισκληρίδιες συσκευές είναι προς το παρόν λιγότερο ακριβείς.

### ABSTRACT

#### Intracranial Pressure Monitoring Konstantinos Katsanoulas, Chrisoula Papageorgiou

Several information, concerning intracranial pressure (ICP) monitoring, is presented in this review. The text focuses in the recent guidelines for the management of severe traumatic injury, depicting the scientific evidence for ICP monitoring and an effort is being made to answer fundamental questions, such as:

- Which patients are at risk for intracranial hypertension?
- Are ICP data useful in the management of severely head-injured patients?
- Does ICP monitoring and ICP-directed treatment improve outcome?
- Does ICP monitoring per se affects outcome?

Next, intracranial pressure therapeutic thresholds follow, while in the intracranial pressure monitoring technology paragraph the current state of technology is presented, focusing in ICP monitoring devices' accuracy and reliability. The optimal intracranial location of the several ICP monitoring systems is commended, as well as major related complications.

Finally, ranking of ICP monitoring technology is presented based on medico-technological and economic criteria.

**Key Words:** intracranial pressure monitoring, intracranial hypertension, traumatic brain injury, Brain Trauma Foundation, Guidelines

---

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**


---

1. Bullock R, Chestnut R, Ghajar J, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2000;17:449-554.
2. Brain Trauma Foundation. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. 3rd Edition. *J Neurotrauma* 2007;24:S1-S106.
3. Aderson PD, Bratton SL, Carney NA, et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children and adolescents. *Pediatr Crit Care Med* 2003;4:S17-S491.
4. Becker DP, Miller JD, Ward JD, et al. The outcome from severe head injury with early diagnosis and intensive management. *J Neurosurg* 1977;47:491-502.
5. Marshall LF, Smith RW, Shapiro HM. The outcome with aggressive treatment in severe head injuries. Part I: the significance of intracranial pressure monitoring. *J Neurosurg* 1979;50:20-25.
6. Miller JD, Butterworth JF, Gudeman SK, et al. Further experience in the management of severe head injury. *J Neurosurg* 1981;54:289-299.
7. Patel HC, Menon DK, Tebbs S, et al. Specialist neurocritical care and outcome from head injury. *Intensive Care Med* 2002;28:547-553.
8. Chesnut RM, Marshall LF, Klauber MR, et al. The role of secondary brain injury in determining outcome from severe head injury. *J Trauma* 1993;34:216-222.
9. Marmarou A, Anderson RL, Ward JD. Impact of ICP instability and hypotension on outcome in patients with severe head trauma. *J Neurosurg* 1991;75:s59-s66.
10. Schoon P, Benito ML, Orlandi G, et al. Incidence of intracranial hypertension related to jugular bulb oxygen saturation disturbances in severe traumatic brain injury patients. *Acta Neurochir Suppl* 2002;81:285-287.
11. Chambers IR, Treadwell L, Mendelow AD. The cause and incidence of secondary insults in severely head-injured adults and children. *Br J Neurosurg* 2000;14:424-431.
12. Chambers IR, Treadwell L, Mendelow AD. Determination of threshold levels of cerebral perfusion pressure and intracranial pressure in severe head injury by using receiver operating characteristic curves: an observational study in 291 patients. *J Neurosurg* 2001;94:412-416.
13. Miller MT, Pasquale M, Kurek S, et al. Initial head computed tomographic scan characteristics have a linear relationship with initial intracranial pressure after trauma. *J Trauma* 2004;56:967-972.
14. Rosner MJ, Daughton S. Cerebral perfusion pressure management in head injury. *J Trauma* 1990;30:933-940.
15. Lundberg N, Troupp H, Lorin H. Continuous recording of the ventricular-fluid pressure in patients with severe acute traumatic brain injury. A preliminary report. *J Neurosurg* 1965;22:581-590.
16. Narayan RK, Greenberg RP, Miller JD, et al. Improved confidence of outcome prediction in severe head injury. A comparative analysis of the clinical examination, multimodality evoked potentials, CT scanning, and intracranial pressure. *J Neurosurg* 1981;54:751-762.
17. Narayan RK, Kishore PR, Becker DP, et al. Intracranial pressure: to monitor or not to monitor? A review of our experience with severe head injury. *J Neurosurg* 1982;56:650-659.
18. Lobato RD, Sarabia R, Rivas JJ, et al. Normal computerized tomography scans in severe head injury. Prognostic and clinical management implications. *J Neurosurg* 1986;65:784-789.
19. Eisenberg HM, Gary HE, Jr., Aldrich EF, et al. Initial CT findings in 753 patients with severe head injury. A report from the NIH Traumatic Coma Data Bank. *J Neurosurg* 1990;73:688-698.
20. Poca MA, Sahuquillo J, Baguena M, et al. Incidence of intracranial hypertension after severe head injury: a prospective study using the Traumatic Coma Data Bank classification. *Acta Neurochir Suppl* 1998;71:27-30.
21. Lee TT, Galarza M, Villanueva PA. Diffuse axonal injury (DAI) is not associated with

- elevated intracranial pressure (ICP). *Acta Neurochir (Wien)* 1998;140:41-46.
22. Servadei F, Antonelli V, Giuliani G, et al. Evolving lesions in traumatic subarachnoid hemorrhage: prospective study of 110 patients with emphasis on the role of ICP monitoring. *Acta Neurochir Suppl* 2002;81:81-82.
  23. Muizelaar JP, Marmarou A, Ward JD, et al. Adverse effects of prolonged hyperventilation in patients with severe head injury: a randomized clinical trial. *J Neurosurg* 1991;75:731-739.
  24. Gopinath SP, Robertson CS, Contant CF, et al. Jugular venous desaturation and outcome after head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994;57:717-723.
  25. Sheinberg M, Kanter MJ, Robertson CS, et al. Continuous monitoring of jugular venous oxygen saturation in head-injured patients. *J Neurosurg* 1992;76:212-217.
  26. Hsiang JK, Chesnut RM, Crisp CB, et al. Early, routine paralysis for intracranial pressure control in severe head injury: is it necessary? *Crit Care Med* 1994;22:1471-1476.
  27. Roberts I. Barbiturates for acute traumatic brain injury. *The Cochrane Library*, Volume 4, 2005.
  28. Marshall LF, Smith RW, Rauscher LA, et al. Mannitol dose requirements in brain-injured patients. *J Neurosurg* 1978;48:169-172.
  29. Mendelow AD, Teasdale GM, Russell T, et al. Effect of mannitol on cerebral blood flow and cerebral perfusion pressure in human head injury. *J Neurosurg* 1985;63:43-48.
  30. Eisenberg HM, Frankowski RF, Contant CF, et al. High dose barbiturate control of elevated intracranial pressure in patients with severe head injury. *J Neurosurg* 1988;69:15-23.
  31. Saul TG, Ducker TB. Effect of intracranial pressure monitoring and aggressive treatment on mortality in severe head injury. *J Neurosurg* 1982;56:498-503.
  32. Howells T, Elf K, Jones P et al. Pressure reactivity as a guide in the treatment of cerebral perfusion pressure in patients with brain trauma. *J Neurosurg* 2005;102:311-317.
  33. Aarabi B, Hesdorffer D, Ahn, E, et al. Outcome following decompressive craniectomy for malignant swelling due to severe head injury. *J Neurosurg* 2006;104:469-479.
  34. Timofeev I, Kirkpatrick P, Corteen E, et al. Decompressive craniectomy in traumatic brain injury: outcome following protocol-driven therapy. *Acta Neurochir (Suppl)* 2006;96:11-16.
  35. Cremer O, van Dijk G, van Wensen E, et al. Effect of intracranial pressure monitoring and targeted intensive care on functional outcome after severe head injury. *Crit Care Med* 2005;33:2207-2213.
  36. Fakhry S, Trask A, Waller M et al. Management of brain injured patients by evidence-based medicine protocol improves outcomes and decreases hospital charges. *J Trauma* 2004;56:492-500.
  37. Palmer S, Bader M, Qureshi A et al. The impact of outcomes in a community hospital setting of using the AANS traumatic brain injury guidelines. *J Trauma* 2001;50(4):657-662.
  38. Bulger E, Nathens A, Rivara F et al. Management of severe head injury: institutional variations in care and effect on outcome. *Crit Care Med* 2002;30:1870-1876.
  39. Lane PL, Skoretz TG, Doig G, et al. Intracranial pressure monitoring and outcomes after traumatic brain injury. *Can J Surg* 2000;43:442-448.
  40. Schreiber MA, Aoki N, Scott B, et al. Determination of mortality in patients with severe blunt head injury. *Arch Surg* 2002;137:285-290.
  41. Ratanalert SN, Phuenpathom N, Saeheng S, et al. ICP threshold in CPP management of severe head injury patients. *Surg Neurol* 2004;61:429-435.
  42. Andrews BT, Chiles BW, Olsen WL, et al. The effect of intracerebral hematoma location on the risk of brain-stem compression and on clinical outcome. *J Neurosurg* 1988;69:518-522.
  43. Marshall LF, Barba D, Toole BM, et al. The oval pupil: clinical significance and relationship to intracranial hypertension. *J Neurosurg* 1983;58:566-568.
  44. Barlow P, Mendelow AD, Lawrence AE, et al. Clinical evaluation of two methods of subdural

- pressure monitoring. *J Neurosurg* 1985;63:578-582.
45. Artru F, Terrier A, Gibert I, et al. [Monitoring of intracranial pressure with intraparenchymal fiberoptic transducer. Technical aspects and clinical reliability]. *Ann Fr Anesth Reanim* 1992;11:424-429.
46. Lundberg N. Continuous recording and control of ventricular fluid pressure in neurosurgical practice. *Acta Psychiatr Scand* 1960;36(Suppl 149):1-193.
47. Chambers IR, Mendelow AD, Sinar EJ, et al. A clinical evaluation of the Camino subdural screw and ventricular monitoring kits. *Neurosurgery* 1990;26:421-423.
48. Chambers KR, Kane PJ, Choksey MS, et al. An evaluation of the camino ventricular bolt system in clinical practice. *Neurosurgery* 1993;33:866-868.
49. Czech T, Korn A, Reinprecht A, et al. Clinical evaluation of a new epidural pressure monitor. *Acta Neurochir (Wien)* 1993;125:169-172.
50. Gambardella G, d'Avella D, Tomasello F. Monitoring of brain tissue pressure with a fiberoptic device. *Neurosurgery* 1992;31:918-921.
51. Koskinen LO, Olivecrona M. Clinical experience with the intraparenchymal intracranial pressure monitoring Codman MicroSensor system. *Neurosurgery* 2005;56:693-698.
52. Mendelow AD, Rowan JO, Murray L, et al. A clinical comparison of subdural screw pressure measurements with ventricular pressure. *J Neurosurg* 1983;58:45-50.
53. Mollman HD, Rockswold GL, Ford SE. A clinical comparison of subarachnoid catheters to ventriculostomy and subarachnoid bolts: a prospective study. *J Neurosurg* 1988;68:737-741.
54. Ostrup RC, Luerssen TG, Marshall LF, et al. Continuous monitoring of intracranial pressure with a miniaturized fiberoptic device. *J Neurosurg* 1987;67:206-209.
55. Piek J, Bock WJ. Continuous monitoring of cerebral tissue pressure in neurosurgical practice-experiences with 100 patients. *Intensive Care Med* 1990;16:184-188.
56. Piek J, Kosub B, Kuch F, et al. A practical technique for continuous monitoring of cerebral tissue pressure in neurosurgical patients. Preliminary results. *Acta Neurochir (Wien)* 1987;87:144-149.
57. Powell MP, Crockard HA. Behavior of an extradural pressure monitor in clinical use. Comparison of extradural with intraventricular pressure in patients with acute and chronically raised intracranial pressure. *J Neurosurg* 1985;63:745-749.
58. Schickner DJ, Young RF. Intracranial pressure monitoring: fiberoptic monitor compared with the ventricular catheter. *Surg Neurol* 1992;37:251-254.
59. Shapiro S, Bowman R, Surg CJ. The fiberoptic intraparenchymal cerebral pressure monitor in 244 patients. *Neurology* 1996;45:278-282.
60. Signorini DF, Shad A, Piper IR, et al. A clinical evaluation of the Codman MicroSensor for intracranial pressure monitoring. *Br J Neurosurg* 1998;12:223-227.
61. Bavetta S, Sutcliffe JC, Sparrow OC, et al. A prospective comparison of fiber-optic and fluid-filled single lumen bolt subdural pressure transducers in ventilated neurosurgical patients. *Br J Neurosurg* 1996;10:279-284.
62. Gopinath SP, Robertson CS, Contant CF, et al. Clinical evaluation of a miniature strain-gauge transducer for monitoring intracranial pressure. *Neurosurgery* 1995;36:1137-1140.
63. Martinez-Manas RM, Santamarta D, de Campos JM, et al. Camino intracranial pressure monitor: prospective study of accuracy and complications. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000;69:82-86.
64. Moench E, Weigel R, Schmiedek P, Schórer L. The Camino intracranial pressure device in clinical practice: reliability, handling characteristics and complications. *Acta Neurochir (Wien)* 1998;140:1113-1119.
65. Piper I, Barnes A, Smith D, et al. The Camino intracranial pressure sensor: is it optimal technology? An internal audit with a review of current intracranial pressure monitoring technologies. *Neurosurgery* 2001;49:1158-1164.



66. Poca MA, Sahuquillo J, Arribas M, et al. Fiberoptic intraparenchymal brain pressure monitoring with the Camino V420 monitor: reflections on our experience in 163 severely head-injured patients. *J Neurotrauma* 2002;19:439-448.
67. Stendel R, Heidenreich J, Schilling A, et al. Clinical evaluation of a new intracranial pressure monitoring device. *Acta Neurochir (Wien)* 2003;145:185-193.
68. Kosteljanetz M, Borgesen SE, Stjernholm P, et al. Clinical evaluation of a simple epidural pressure sensor. *Acta Neurochir (Wien)* 1986;83:108-111.
69. Schwarz N, Matuschka H, Meznik A. [The Spiegelberg device for epidural registration of the ICP]. *Unfallchirurg* 1992;95:113-117.
70. Weaver DD, Winn HR, Jane JA. Differential intracranial pressure in patients with unilateral mass lesions. *J Neurosurg* 1982;56:660-665.
71. Yablon JS, Lantner HJ, McCormack TM, et al. Clinical experience with a fiberoptic intracranial pressure monitor. *J Clin Monit* 1993;9:171-175.
72. Bruder N, N'Zoghe P, Graziani N, et al. A comparison of extradural and intraparenchymatous intracranial pressures in head-injured patients. *Intensive Care Med* 1995;21:850-852.
73. Dearden NM, McDowall DG, Gibson RM. Assessment of Leeds device for monitoring intracranial pressure. *J Neurosurg* 1984;60:123-129.
74. Gray WP, Palmer JD, Gill J, et al. A clinical study of parenchymal and subdural miniature strain-gauge transducers for monitoring intracranial pressure. *Neurosurgery* 1996;39:927-931.
75. Lozier AP, Sciacca RR, Romanoli M, et al. Ventriculostomy-related infection: a critical review of the literature. *Neurosurgery* 2002;51:170-182.
76. Brain Trauma Foundation, American Association of Neurological Surgeons. Recommendations for intracranial pressure monitoring technology. In: *Management and Prognosis of Severe Traumatic Brain Injury*. Brain Trauma Foundation: New York, 2000:75-90.
77. Aucoin PJ, Kotilainen HR, Gantz NM. Intracranial pressure monitors: epidemiologic study of risk factors and infections. *Am J Med* 1986;80:369-376.
78. Blomstedt GC. Results of trimethoprim-sulfamethoxazole prophylaxis in ventriculostomy and shunting procedures. *J Neurosurg* 1985;62:694-697.
79. Holloway KL, Barnes T, Choi S. Ventriculostomy infections: the effect of monitoring duration and catheter exchange in 584 patients. *J Neurosurg* 1996;85:419-424.
80. Lyke KE, Obasanjo OO, Williams MA, et al. Ventriculitis complicating use of intraventricular catheters in adult neurosurgical patients. *Clin Infect Dis* 2001;33:2028-2033.
81. Mayhall CG, Archer NH, Lamb VA, et al. Ventriculostomy-related infections. A prospective epidemiologic study. *N Engl J Med* 1984;310:553-559.
82. Park P, Garton HJL, Kocan MJ, et al. Risk of infection with prolonged ventricular catheterization. *Neurosurgery* 2004;55:594-601.
83. Stenager E, Gerner-Smidt P, Kock-Jensen C. Ventriculostomy-related infections-an epidemiological study. *Acta Neurochir (Wien)* 1986;83:20-23.
84. Winfield JA, Rosenthal P, Kanter R, et al. Duration of Intracranial pressure monitoring does not predict daily risk of infections complications. *Neurosurgery* 1993;33:424-431.
85. Zambramski JM, Whiting D, Darouiche RO, et al. Efficacy of antimicrobial-impregnated external ventricular drain catheters: a prospective, randomized, controlled trial. *Neurosurgery* 2003;98:725-730.
86. Alleyene CH, Mahmood H, Zambramski J. The efficacy and cost of prophylactic and perioperative antibiotics in patients with external ventricular drains. *Neurosurgery* 2000;47:1124-1129.
87. Poon WS, Wai S. CSF antibiotic prophylaxis for neurosurgical patients with ventriculostomy: a randomised study. *Acta Neurochir Suppl*

- 1998;71:146-148.
88. Rebeck JA, Murry KR, Rhoney DH, et al. Infection related to intracranial pressure monitors in adults: analysis of risk factors and antibiotic prophylaxis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000;69:381-384.
89. Sundbarg G, Nordstrom C-H, Soderstrom S. Complication due to prolonged ventricular fluid pressure recording. *Br. J Neurosurg* 1988;2:485-495.
90. Friedman WA, Vries JK. Percutaneous tunnel ventriculostomy. Summary of 100 procedures. *J Neurosurg* 1980;53:662-665.
91. Guyot LL, Dowling C, Diaz FG, Michael DB. Cerebral monitoring devices: analysis of complications. *Acta Neurochir Suppl* 1998;71:47-49.
92. North B, Reilly P. comparison among three methods of intracranial pressure recording. *Neurosurgery* 1986;18:730.
93. Paramore CG, Turner DA. Relative risks of ventriculostomy infection and morbidity. *Acta Neurochir (Wien)*1994;127:79-84.
94. Stangl AP, Meyer B, Zentner J, et al. Continuous external CSF drainage-a perpetual problem in neurosurgery. *Surg Neurol* 1998;50:77-82.