



Tecnica Ospedaliera

www.tecnicaospedaliera.it



■
AIIC, CULTURA TECNOLOGICA
PER LA SANITÀ DI DOMANI

■
CNAO, AMPLIAMENTO
E RIORGANIZZAZIONE

■
PROGETTO MEDIRAD, OBIETTIVO
RADIOPROTEZIONE

■
MONITORAGGIO INTELLIGENTE
DELL'ANESTESIA

Con il patrocinio di





In sovracoperta:
Ponzi
Viale Gramsci, 26/A
48031 Bagnara di Romagna (RA)
tel. 054576009
www.ponzi.eu

ATTUALITÀ
6 **Una cultura tecnologica per la sanità di domani**
Roberto Tognella

DIREZIONE GENERALE
12 **Analisi organizzativa della medicina di precisione, il percorso di diagnosi**
AA.VV.

18 **HIV, i ricoveri per acuti nella prospettiva del progetto Bussola**
Roberto Carminati

PROGETTAZIONE
24 **CNAO, ampliamento e riorganizzazione**
Giuseppe La Franca

DIAGNOSTICA PER IMMAGINI
30 **Progetto MEDIRAD, obiettivo uniformità**
Doyle Watson

NEONATOLOGIA
34 **Un nuovo modello per i centri nascita**
Giulia Agresti

TERAPIA INTENSIVA
36 **Dalla collaborazione nascono i buoni risultati**
Michele Cerruti

MANAGEMENT INFERMIERISTICO
40 **Gestione dell'alimentazione in emodialisi**
AA.VV.

INGEGNERIA CLINICA
46 **Monitoraggio intelligente dell'anestesia**
Armando Ferraioli



24

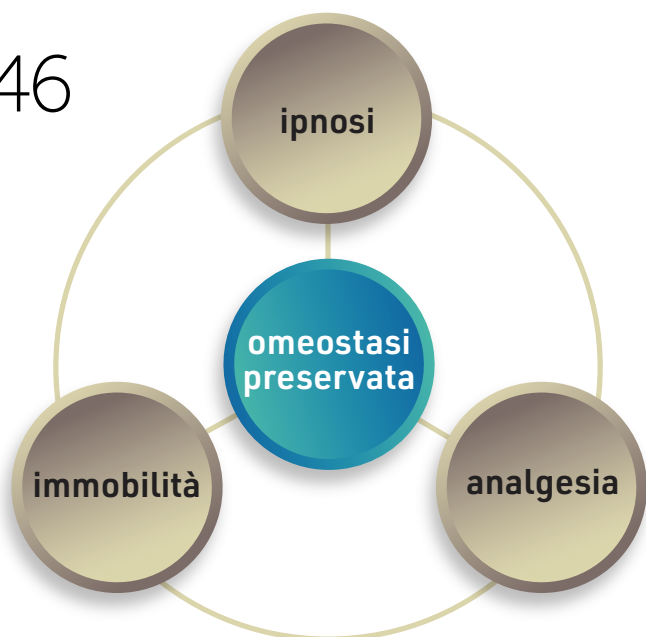


6



36

46



01 HEALTH

56 **Malattia oncologica e telenursing, nuove prospettive infermieristiche**
AA.VV.

CASE HISTORY

60 **Fornitori hi-tech per la rivoluzione digitale**

Roberto Carminati

62 **L'illuminazione in ambiente ospedaliero**

64 **Intelligenza artificiale e tecnologia Photon Counting, presente e futuro della diagnostica per immagini**
AA.VV.

68 **VETRINA**

70 **SENTENZE**

Alessandro Brigatti

71 **APP SANITÀ**

Anno LI - Numero 5 giugno 2022

Casa Editrice:

© Tecniche Nuove Spa
via Eritrea, 21 - 20157 Milano - Italia
telefono 02390901 - 023320391 - fax 023551472

Direttore Responsabile

Ivo Alfonso Nardella

Direttore Editoriale

Ivo Alfonso Nardella

Coordinamento Editoriale

Corinna Montana Lampo

Coordinamento Marketing

Federico Maisenti

Redazione

Cristina Suzzani - tel. 0239090318
e-mail: cristina.suzzani@tecniche Nuove.com

Comitato Scientifico

Marco Di Muzio, Emanuele Di Simone, Danilo Gennari,
Marco Giachetti, Giuseppe La Franca, Adriano Lagostena,
Luigi Lucente, Luigi O. Molendini, Umberto Nocco, Fabrizio
Pregliasco, Martino Trapani, Luciano Villa

Hanno collaborato a questo numero

P.Barletta, M.Bonfanti, A.Brigatti, R.Carminati, M.Cerruti,
D.Croce, E.Croce, M.Donava, F.Grossi, G.La Franca, S.Novello,
E.Papa, V.Persiani, R.Tognella, D.Watson

Direttore Generale

Ivo Alfonso Nardella

Direttore commerciale

Cesare Gnocchi - cesare.gnocchi@tecniche Nuove.com

Ufficio commerciale-vendita spazi pubblicitari

Milano - Via Eritrea, 21
Tel. 0239090283-39090272 - Fax 0239090411
commerciale@tecniche Nuove.com

Direttore Divisione Progetti Speciali

Paolo Sciacca - tel. 0239090390
paolo.sciacca@tecniche Nuove.com

Coordinamento stampa e pubblicità

Fabrizio Lubner (responsabile),
Sara Andreazza (tel. 0239090295)
sara.andreazza@tecniche Nuove.com

Grafica e impaginazione

Grafica Quadrifoglio S.r.l. - Milano

Immagini: Adobe Stock, Shutterstock

Abbonamenti

Giuseppe Cariulo (responsabile)
giuseppe.cariulo@tecniche Nuove.com
Alessandra Caltagirone
alessandra.caltagirone@tecniche Nuove.com
Tel. 0239090261 - Fax 0239090335
abbonamenti@tecniche Nuove.com

Abbonamenti

Tariffe per l'Italia: cartaceo annuale € 60,00;
cartaceo biennale € 110,00; digitale annuale € 45,00
Tariffe per l'Estero: digitale annuale € 45,00.

Per abbonarsi a Tecnica Ospedaliera è sufficiente versare
l'importo attraverso le seguenti modalità:

Bonifico bancario - IBAN IT70K010050160700000004537

Intestato a TECNICHE NUOVE Spa

Conto corrente postale n. 394270

Intestato a TECNICHE NUOVE Spa

Online su www.tecniche Nuove.com

Uffici regionali

Bologna - Via di Corticella, 181/3

Tel. 051325511 - Tel. 051324647

Vicenza - Contrà S. Caterina, 29

Tel. 0444540233 - Fax 0444540270

E-mail: commerc@tecniche Nuove.com

Internet: <http://www.tecniche Nuove.com>

Stampa

New Press, Via della Trasversa 22, Lomazzo (CO)

Dichiarazione dell'Editore

La diffusione di questo fascicolo carta+on-line

è di 17.563 copie

Responsabilità

la riproduzione delle illustrazioni e articoli pubblicati dalla
rivista, nonché la loro traduzione è riservata e non può
avvenire senza espressa autorizzazione della Casa Editrice.
I manoscritti e le illustrazioni inviati alla redazione non
saranno restituiti, anche se non pubblicati e la Casa Editrice
non si assume responsabilità per il caso che si tratti di
esemplari unici.

La Casa Editrice non si assume responsabilità
per i casi di eventuali errori contenuti negli articoli
pubblicati o di errori in cui fosse incorsa nella loro
riproduzione sulla rivista.

Associazioni

ANES ASSOCIAZIONE NAZIONALE
EDITORIA DI SETTORE

Organo Privilegiato A.I.I.C. (Associazione Italiana Ingegneri Clinici)

Sotto gli auspici di S.I.T.O.
(Società Italiana di Tecnica Ospedaliera)

Periodicità

mensile - Poste Italiane Spa - Spedizione in abbonamen-
to Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art.
1, comma 1, DCB Milano

Registrazione

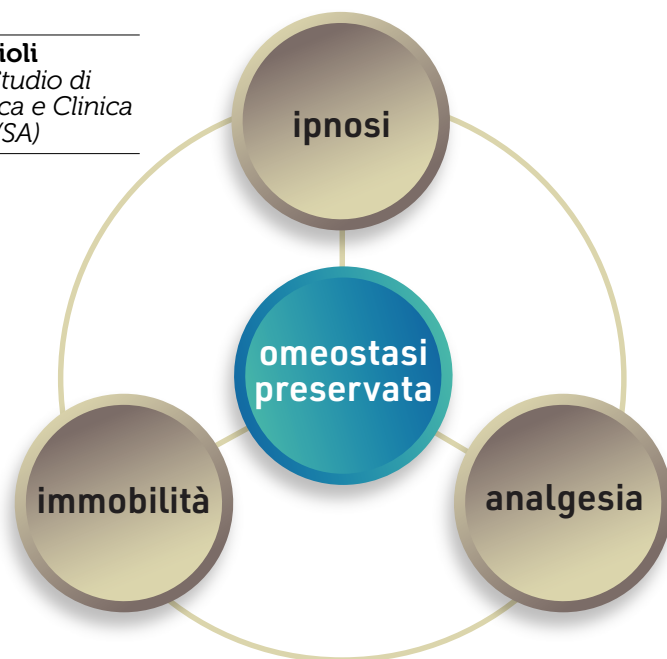
N. 17 del 16-1-1971 Tribunale di Milano - Iscritta al ROC
Registro degli Operatori di Comunicazione al n° 6419
(delibera 236/01/Cons del 30.6.01 dell'Autorità per le Garanzie
nelle Comunicazioni) Testata volontariamente sottoposta a
certificazione e diffusione in conformità al Regolamento

Tecniche Nuove pubblica inoltre le seguenti riviste

Automazione Integrata, Commercio Idrotermosanitario, Costruire in
Laterizio, Cucina Naturale, DM Il Dentista Moderno, Elettro+Watt,
Dermakos, Farmacia News, Fluid Trasmissioni di Potenza, Fonderia
- Pressofusione, GT Il Giornale del Termoidraulico, HA Factory,
Hotel Domani, Il Commercio Edile, Il Latte, Il Pediatra, Il Progettista
Industriale, Imbottigliamento, Imprese Edili, Industria della Carta,
Industria 4.0, Italia Grafica, Cosmetica, Lamiera, L'Erborista,
Logistica, Macchine Agricole, Macchine Edili, Macchine Utensili,
Medicina Integrata, Nautech, NCF Notiziario Chimico Farmaceutico,
Oleodinamica Pneumatica, Organi di Trasmissione, Ortopedici e
Sanitari, Plastix, RCI, Serramenti + Design, Stampi Progettazione
e Costruzione, Subfornitura News, Technofashion, Tech Art Shoes,
Tecnica Ospedaliera, Tecnologie del Filo, Tema Farmacia, TF
Trattamenti e Finiture, Utensili e attrezzature, WQ - Vigne, Vini e
Qualità, ZeroStoZero.

Monitoraggio intelligente dell'anestesia

Armando Ferraioli
bioingegnere - Studio di
Ingegneria Medica e Clinica
Cava de' Tirreni (SA)



Un'anestesia generale è tanto più profonda quanto più elevate sono le dosi somministrate. Usando le stesse dosi non si ottiene in tutti i pazienti la stessa profondità di anestesia e ciò dipende da vari fattori: età, peso, patologie sottostanti, farmaci associati. Controllare la profondità dell'anestesia permette di modulare le dosi ai bisogni di ogni paziente, per evitare sia un sovradosaggio sia un sottodosaggio. La tecnologia permette di monitorare la profondità dell'anestesia, valutare l'attività cerebrale del paziente e accertarsi rapidamente di come certi farmaci agiscono su di essi

KEYWORDS

monitoraggio dell'anestesia,
profondità dell'anestesia,
nocicezione

*anesthesia monitoring,
depth of anesthesia,
noxious stimuli*

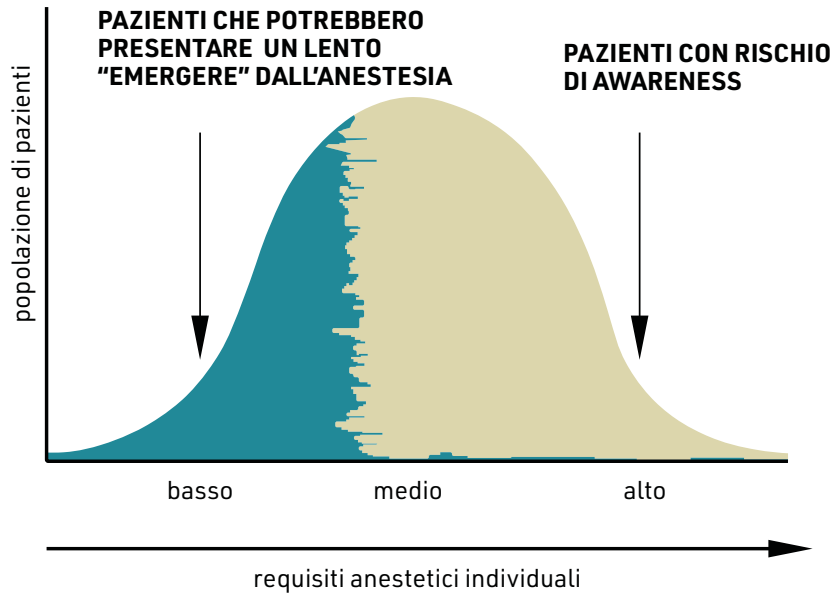
Il controllo clinico dell'anestesia si effettua su due componenti principali: la perdita di coscienza, stimata in tempo reale dalla perdita di risposta ai comandi e, a posteriori, dall'amnesia del periodo perioperatorio; la reattività agli stimoli dolorosi, con un movimento o con un'attivazione del sistema nervoso autonomo. Le tecnologie moderne permettono con tecniche non invasive di monitorare la profondità dell'anestesia, valutare l'attività cerebrale del paziente e accertarsi rapidamente di come certi farmaci agiscono su di essi.

Awareness e profondità dell'anestesia

Il termine awareness viene comunemente usato in medicina e in particolar modo per spiegare la fenome-

niologia del "risveglio intraoperatorio", ovvero la rievocazione o la memorizzazione di alcuni ricordi correlati all'intervento chirurgico che la mente è in grado di registrare. Il ricordo può: emergere dopo l'anestesia in modo spontaneo attraverso la "memoria dichiarativa o esplicita"; essere rievocato attraverso il suggerimento al paziente di particolari parole anche a distanza di tempo, attraverso la "memoria implicita". L'awareness può verificarsi durante l'induzione, in caso di intubazione difficoltosa o nel corso di mantenimento, per dosi ridotte d'ipnotico e di analgesici. Altra situazione possibile è la fase di risveglio, per la sospensione precoce di anestetici, con il paziente curarizzato in uno stato di coscienza parzialmente o totalmente integra,

Monitoring the anesthetic state of patients during surgical interventions under general anesthesia has received much attention from the research community especially since the advent of balanced anaesthesia, which has made the detection of awareness much more difficult. The aim of this paper is to describe the patient monitoring during anesthesia to assess the patient's state of consciousness and to present a non-invasive depth of anesthesia monitoring that helps to assess the state of consciousness and the probability of response to noxious stimuli under the hypnotic and analgesic effects.



egli non ha possibilità di avvisare che soffre per le manovre chirurgiche. È evidente che un episodio del genere produca ripercussioni psicologicamente tragiche, che possono causare tremori, ansia e disturbi del sonno, con ripercussioni sul vivere quotidiano. Il recupero intraoperatorio della coscienza è un'esperienza descritta come "terrorizzante" che può determinare alterazioni emozionali molto intense fino a una sindrome definita "disturbo post-traumatico da stress". In caso di awareness durante l'anestesia generale, la maggior parte dei pazienti la vive come un'esperienza spiacevole, cui fanno seguito disturbi del sonno (sogni agitati e incubi) e flashback diurni che generano ansia. In una minoranza di casi si sviluppa il disturbo da stress post-traumatico, caratterizzato da incubi notturni ricorrenti, ansia, irritabilità e sensazione di morte, sintomi che possono persistere per mesi o addirittura per anni. La caratteristica di questa sindrome è lo svilupparsi della sintomatologia dopo l'esposizione a un fattore traumatico esterno, cosa che implica l'esperienza di un evento vissuto come minaccia di morte, di lesioni gravi o minacce in genere contro l'integrità fisica. La risposta della persona all'evento comprende la sensazione di paura intensa ed uno dei sintomi tipici è il continuo reiterare l'evento traumatico. L'esordio dei sintomi si manifesta nei primi tre mesi dopo il trauma, sebbene possa ritardare. L'esordio e la durata della sintomatologia permettono di differenziare la sindrome in: acuta, cronica, tardiva. Nel caso dell'awareness, il risveglio intraoperatorio è seguito dal ricordo o "conscious recall" solo se ha avuto una durata superiore ad almeno due minuti.

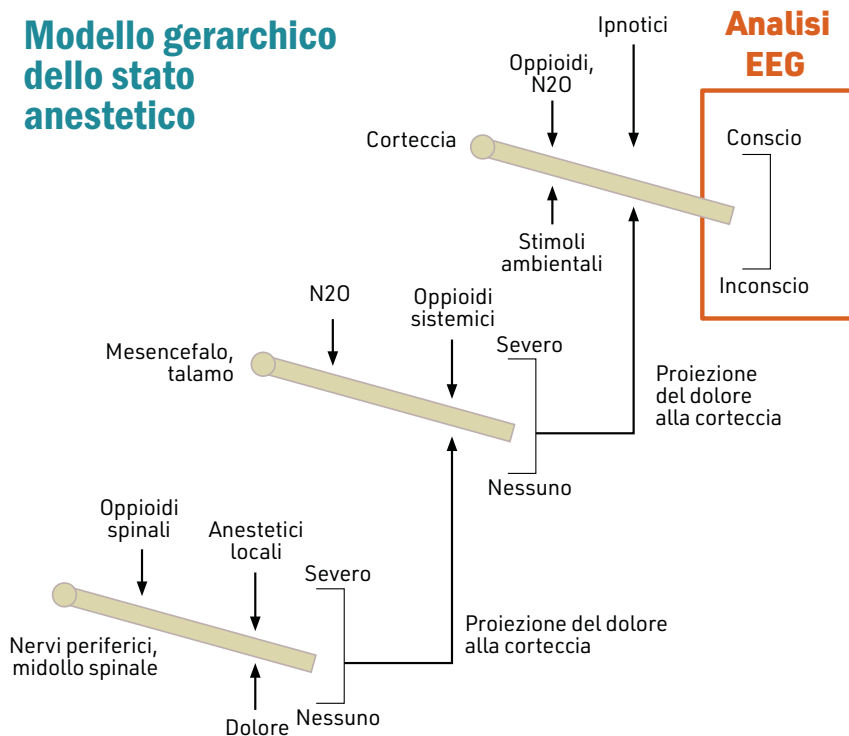
Figura 1. Requisiti anestetici individuali in funzione della popolazione di pazienti

NEGLI ULTIMI ANNI SI È FOCALIZZATA L'ATTENZIONE SULLA PREVENZIONE DEGLI EFFETTI COLLATERALI DELL'ANESTESIA, COME AWARENESS E DELIRIO

Anestesia generale

L'anestesia generale è una tecnica in cui il paziente è reso completamente privo di coscienza. Essa permette di garantire l'analgesia (la non percezione del dolore), l'amnesia (il non ricordare nulla dell'evento chirurgico) e la paralisi muscolare (i muscoli sono privi di tono e quindi rilasciati). L'anestesia generale è comunemente indotta e mantenuta somministrando al paziente farmaci per via endovenosa o per via respiratoria o per ambedue le vie. La profondità dell'anestesia può essere modificata aumentando o diminuendo la quantità dei farmaci somministrati. Al termine della procedura chirurgica, l'anestesista riduce progressivamente la sua profondità, favorendo il risveglio in breve tempo, il recupero dello stato di coscienza e la completa autonomia. Le modalità per praticare un'anestesia generale sono principalmente due: 1) inalatoria; 2) endovenosa (oppure la combinazione di entrambe). L'anestesia inalatoria si ottiene facendo respirare al paziente degli anestetici gassosi (questa fase è quasi sempre preceduta dalla somministrazione di farmaci endovenosi che determinano la perdita dello stato di coscienza) dove l'assorbimento dei gas e dei vapori anestetici avviene attraverso i polmoni. Nell'anestesia endovenosa i farmaci anestetici sono somministrati invece mediante infusione continua, per mezzo di una pompa-siringa che regola la quantità di farmaco necessaria al paziente. La gestione ottimale dell'anestesia e della sedazione è da sempre una sfida impegnativa in quanto la disomogeneità dei pazienti in termini di età e quadro clinico, unita alla sempre più pressante necessità di diminuire i tempi di degenza, costituiscono un ambiente operativo "estremo" in termini di complessità. Negli ultimi anni, si è ulteriormente focalizzata l'attenzione sulla prevenzione dagli effetti collaterali dell'anestesia, fra i quali si citano a titolo esemplificativo e non esaustivo, l'awareness e il delirio. Questo nuovo contesto ha progressivamente aumentato gli standard prestazionali attesi dai dispositivi medici con la richiesta di misure sempre più rapide ed affidabili dello stato clinico del paziente sia in sala operatoria che al posto letto. L'evoluzione tecnologica e le nuove scoperte in ambito elettronico, hanno permesso di apportare in medicina nuove soluzioni ad alta potenzialità, sia in termini di rapidità di analisi che nella capacità di analizzare segnali sempre più complessi e in modo sempre più accurato. La figura 1 esplicita i requisiti anestetici individuali in funzione della popolazione di pazienti

Modello gerarchico dello stato anestetico



ti, mentre la figura 2 riporta il modello gerarchico dello stato anestetico.

Il monitoraggio della profondità dell'anestesia

Obiettivo dell'anestesia durante un intervento chirurgico libero da eventi, è quello somministrare un insieme bilanciato di farmaci, per ottenere livelli appropriati di:

- areflessia (assenza di movimento)
- analgesia (assenza di dolore)
- perdita di coscienza (sedazione/ipnosi).

Quando si monitorizza in tempo reale la profondità di anestesia e di sedazione di un paziente in abbinamento al monitoraggio tradizionale, si facilita una valutazione più rapida del suo stato, in modo da ottimizzare la profondità dell'anestesia e migliorare la sua assistenza. La profondità dell'anestesia è il risultato (istante per istante), di un delicato equilibrio tra lo spettro di azioni prodotte dai vari farmaci impiegati e l'intensità delle risposte (peraltro soggette a una variabilità individuale) allo stimolo chirurgico. L'awareness intraoperatorio spesso citato come "risveglio intraoperatorio" può essere definito come la capacità di ricordo, con e senza percezione da cosciente, di eventi che accadono durante l'anestesia generale, attraverso meccanismi di memorizzazione di tipo esplicito e implicito. L'evidenza suggerisce che il verificarsi di episodi di awareness è in genere correlato alla su-

perficializzazione del piano di anestesia. Tale fenomeno può causare a distanza di tempo, una sindrome post-traumatica caratterizzata da insonnia, incubi, depressione, stato ansioso angoscia e preoccupazione di morte. Con l'incremento della concentrazione di anestetico si assiste a una riduzione graduale dello stato di coscienza e della capacità di memorizzazione. Nel corso degli anni ci si è affidati a strumenti sempre più sofisticati per il monitoraggio della profondità dell'anestesia. Attualmente le metodiche promettenti dal punto di vista del monitoraggio del sonno indotto durante l'anestesia sono: l'analisi bispettrale (BIS), i potenziali evocati acustici (AEP), l'entropia e gli indici qCON (coscienza) e qNOX (nocicezione) entrambe derivate dalla misura diretta del segnale elettroencefalografico grezzo che offrono un monitoraggio in tempo reale e sono letti dallo stesso sensore, posto sulla fronte del paziente.

La nocicezione

È l'insieme di meccanismi che trasmettono lo stimolo dall'area periferica al sistema nervoso centrale. Essa è il processo sensoriale che rileva e convoglia i segnali e le sensazioni di dolore. Il dolore fisiologico (o nocicettivo) è il risultato dell'attivazione di una particolare classe di recettori periferici, i "nocicettori" che sono terminazioni nervose specializzate nel riconoscere stimoli in grado di produrre potenzialmente o concretamente un danno tissutale. Essi sono neuroni specializzati nella percezione di stimoli dolorosi di varia natura. I nocicettori hanno caratteristiche di soglia e sensibilità che li distinguono da altre fibre sensoriali rispondendo a bruciature, schiacciamento, irritanti chimici ecc. ma non a stimoli definiti "innocui". Il riquadro "Nocicezione" riporta le funzioni sensoriali legate alla nocicezione ovvero alla sottomodalità della percezione somatosensitiva.

Le fibre afferenti nocicettive terminano a livello dei neuroni di proiezione del corno dorsale del midollo spinale. I nocicettori rispondono a stimoli dolorosi

Nocicezione

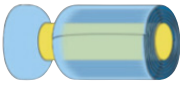
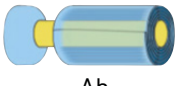
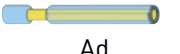
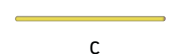
(sottomodalità della percezione somatosensitiva)

- Funzioni sensoriali
- Caldo e freddo
- Dolore
- Pressione
- Tatto
- Discriminazione
- Riconoscimento tridimensionale

Le fibre sensoriali che innervano il nostro corpo originano da:

- Ganglio trigemino
- Gangli delle radici dorsali (DRG)

Fibre che collegano i recettori al SNC

Tipo di recettore	Tipo di assone	Diametro (μm)	Velocità di conduzione (m/s)
Precettori dei muscoli scheletrici	 Aa	13 - 20	80 - 120
Meccanocettori della pelle	 Ab	6 - 12	35 - 75
Dolore, temperatura	 Ad	1 - 5	5 - 30
Temperatura, dolore, prurito	 c	0,02 - 1,5	0,5 - 2

La figura 3 mostra le fibre sensoriali che collegano i recettori al sistema nervoso centrale (SNC)

Tabella 1. Caratteristiche del dolore nocicettivo

Somatico	Viscerale
<ul style="list-style-type: none"> - dolore acuto e intermittente che aumenta con dei movimenti in una direzione provocativa, con sintomi tipo fitta o sensazione tagliente - c'è spesso una correlazione e proporzione tra stimolo e risposta - la localizzazione del dolore è abbastanza precisa con eventuali dolori riferiti "coerenti" - possono esserci segni infiammatori - spesso risponde positivamente ad analgesici semplici e ad antinfiammatori 	<ul style="list-style-type: none"> - scarsa localizzazione del dolore - probabile difficoltà di provocare ulteriore dolore toccando la parte dove il dolore viene percepito - possibile presenza di sintomi comuni nelle neuropatie autonome rappresentati da ipotensione ortostatica e reazioni emotive - solitamente descritto come sordo, gravativo e spesso con dolore riferito

(probabilmente segnali chimici rilasciati dai tessuti danneggiati). Il dolore "nocicettivo" viene definito come "il dolore che deriva sia da un danno reale che di minaccia al tessuto non neurale, dovuto all'attivazione dei nocicettori". Nel caso di dolore nocicettivo, il tessuto neurale è generalmente sano e la trasmissione del segnale è normale; ciò che crea il dolore è la stimolazione dei nocicettori, presenti sia a livello somatico che viscerale, anche se non sono sensori che rilevano essi stessi dolore o che producono segnali dolorosi. Essi sono delle terminazioni nervose libere, sensibili a sti-

moli termici, meccanici, chimici che in relazione allo stimolo e al superamento di determinate soglie, trasducono un segnale in entrata, in un potenziale d'azione lungo il nervo. Quando i nocicettori vengono attivati, l'impulso viaggia all'interno di fibre A-delta e/o C, con informazioni dirette al SNC. In questa fase fisiologica, non si può ancora parlare di dolore infatti, l'attività nocicettiva non è detto che corrisponda alla percezione del dolore. Viceversa, si può percepire dolore anche in assenza di nocicezione. Tralasciando i meccanismi di modulazione e inibizione di questo segnale che viaggia all'interno del sistema nervoso, una volta arrivato al cervello, il segnale verrà elaborato e interpretato e, solo allora, potrà avvenire quella fase finale denominata percezione, in cui saranno prodotte spiacevoli esperienze con differenti componenti percettive e reazioni difensive e/o affettive. Le caratteristiche del dolore nocicettivo somatico e quello viscerale sono riportate in tabella 1.

Molte di queste caratteristiche proprie del dolore nocicettivo possono variare in relazione all'età, al genere, alla cultura e al contesto. Sintetizzando, si può dire che il dolore è correlato con la nocicezione e attraverso la neurofisiologia si viene a conoscenza di diversi pattern che spiegano molti meccanismi sia di facilitazione che di inibizione del dolore.

Analisi spettrale (BIS)

L'analisi spettrale permette di quantificare l'accoppiamento di fase delle onde componenti il tracciato elettroencefalografico. Ne deriva un indice che rispecchia il grado di ipnosi. In termini pratici il BIS acquisisce il segnale EEG attraverso elettrodi posti sulla fronte del paziente e in pochi secondi compare sul monitor un numero che va da 0 (attività cerebrale non valutabile) a 100 (stato di vigilanza massimo), che corrisponde al livello di coscienza del paziente. Il dato è adimensionale e non prevede un raffronto con una valutazione preoperatoria. I limiti della metodica sono rappresentati dalla variabilità individuale nella predittività dello stato di ipnosi, dalla dipendenza del tipo di anestetico, dalla non predittività dei movimenti in risposta allo stimolo chirurgico, dalle interferenze elettriche e muscolari, dalla riduzione del valore del BIS in caso di ipotermia e ischemia cerebrale e infine dall'effetto paradossale determinato dall'utilizzo di alcuni farmaci.

Potenziali evocati acustici (AEP)

L'AEP index (somma della radice quadrata della differenza "in valore assoluto", di due successivi seg-

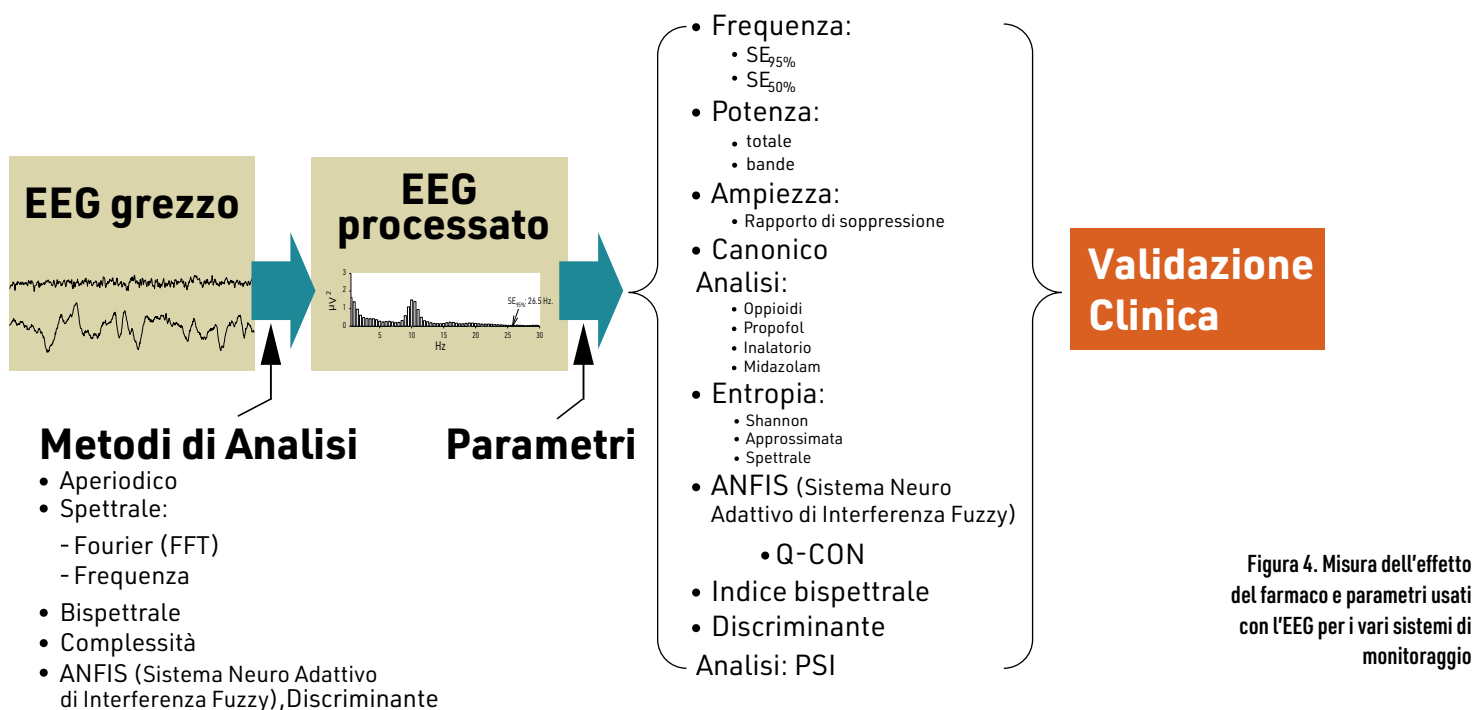


Figura 4. Misura dell'effetto del farmaco e parametri usati con l'EEG per i vari sistemi di monitoraggio

menti del tracciato AEP) riflette la morfologia dei potenziali evocati. Quest'indice viene considerato un parametro ottimale per la distinzione tra coscienza (paziente reattivo a stimoli verbali e presenza del riflesso palpebrale) e unconsciousness (paziente non reattivo a stimoli verbali e assenza del riflesso palpebrale). Al di là della metodica di estrazione utilizzata, i potenziali evocati uditivi presentano indubbi vantaggi, mostrando variazioni costanti e prevedibili dopo la somministrazione di tutti gli anestetici e una buona correlazione con i fenomeni di awareness. Tuttavia, come ogni altro indice di profondità di anestesia, essi presentano alcuni limiti, quali: la non predittività dei movimenti in risposta allo stimolo chirurgico; l'impossibilità di ottenere tracciati attendibili in presenza di difetti uditivi di tipo trasmissivo e neurosensoriale; l'alterazione del segnale dovuta a ipo o ipertermia e la contaminazione del segnale da parte dell'attività muscolare e di interferenze elettriche.

Entropia

L'entropia come fenomeno fisico è correlata al disordine, alla complessità e all'impredittibilità di un sistema. L'algoritmo dell'entropia converte il disordine contenuto nel segnale elettroencefalografico in un indice che esprime la profondità dell'anestesia. Alti valori di quest'ultimo durante l'anestesia sono indicativi di un paziente sveglio, mentre bassi valori sono correlati alla sua assenza di coscienza. In realtà, gli indici ricavati sono due: l'entropia di stato (SE) e l'entropia dinamica (RE), essendo

la prima calcolata per frequenze comprese tra 0.8 e 32 Hz e la seconda per frequenze comprese 0.8 e 47 Hz. La finestra di tempo per la SE è più lunga mentre per la RE è più breve. Poiché normalmente le frequenze fino a 32 Hz contengono soltanto un segnale EEG mentre per quelle superiori la componente elettromiografica è predominante, il breve ritardo della RE è utile nella pratica poiché rivela immediatamente l'attivazione del muscolo frontale e quindi l'inadeguatezza del piano anestetico. Al contrario, se non c'è nessuna attività muscolare frontale e quindi assenza di segnale bioelettrico oltre i 32 Hz, i due indici mostreranno valori identici. Sebbene ci sia una buona correlazione tra i valori di entropia e gli episodi di coscienza-incoscienza durante l'anestesia, resta da dimostrare la reale sensibilità e specificità di questo indice.

Il monitoraggio intelligente dell'anestesia

Il vantaggio dell'uso di questi indici per monitorare l'anestesia è stato oggetto di discussioni controverse. Un punto critico è una possibile incapacità degli indici di rilevare episodi di consapevolezza intraoperatoria, specialmente nei pazienti con blocco neuromuscolare. Un altro problema è relativo al ritardo nel calcolo dell'indice, che può impedire all'anestesista di rilevare tempestivamente cambiamenti improvvisi nel livello dell'anestetico. Questi problemi possono impedire agli indici di separare in modo affidabile gli stati consci o reattivi dagli stati inconsci o non reattivi online, durante le

Tabella 2. Stato clinico atteso in funzione dell'indice qCON

qCON	Stato clinico
99	Paziente sveglio
80	Paziente sedato
40-60	Paziente in anestesia generale
0	Paziente in anestesia profonda EEG isoelettrico

Tabella 3. Stato clinico atteso in funzione dell'indice qNOX.

qCON	Stato clinico
qNOX	Stato clinico
60-99	Paziente probabilmente reagisce a stimoli nocicettivi
40-60	Paziente probabilmente non risponde a stimoli nocicettivi
0-40	Probabilità molto bassa che il paziente risponda a stimoli nocicettivi

transizioni di stato. Un indice relativamente nuovo è il qCON (coscienza) integrato con il qNOX (nocicezione). Tali indici sono in grado di rilevare le differenze tra i tempi d'azione degli agenti ipnotici e analgesici. Il qCON (coscienza) mostra una diminuzione più rapida durante l'induzione mentre il qNOX (nocicezione) mostra un aumento più rapido durante il recupero.

Indice qCON (coscienza) e qNOX (nocicezione)

La necessità di definire e quantificare la profondità dell'anestesia, indipendentemente dal tipo di anestetico endovenoso o inalatorio impiegato, rappresenta la spinta per la ricerca di metodiche di monitoraggio sempre più affidabili. L'indice primario qCON ha una scala adimensionale 0-99, che serve come guida per valutare il livello di coscienza derivato dall'EEG del paziente e l'indice secondario qNOX anch'esso derivato dall'EEG con una scala adimensionale da 0-99 che serve come guida per valutare la probabilità di una risposta del paziente a stimoli nocicettivi. Un sensore posizionato sulla fronte del paziente trasmette segnali EEG a un convertitore analogico digitale (ADC) che li amplifica e li digitalizza. Il dispositivo filtra, rimuove gli artefatti e processa i dati dell'ADC utilizzando tecniche di elaborazione di segnali digitali. I segnali EEG vengono elaborati per poterne estrarre le complesse caratteristiche, al fine di rilevare cambiamenti nei pattern temporali. L'EEG mostra l'attività neurale che avviene al di sotto degli strati superiori del cervello (corteccia). Esso riflette l'attività sinaptica composta dei poten-

ziali post-sinaptici eccitanti e inibitori, generati dai neuroni corticali.

Indice qCON

Essendo l'indice qCON correlato al livello di ipnosi del paziente, la diminuzione dei suoi valori corrisponde ad una graduale perdita di coscienza e a una maggiore profondità dell'anestesia, può essere quindi utilizzato per rilevare gli effetti di alcuni anestetici sul cervello. Al qCON viene applicata una media mobile esponenziale e ogni secondo esso aggiorna l'indice visualizzato e il tempo di risposta (tempo necessario per rilevare un cambiamento di stato significativo) che è di 20 secondi. La tabella 2 riporta lo stato clinico atteso in funzione dell'indice qCON.

Indice qNOX

L'indice qNOX deriva dall'analisi continua dell'EEG ed equivale alla probabilità che un paziente risponda a stimoli nocicettivi sotto anestesia generale o sedazione. La tabella 3 riporta lo stato clinico atteso in funzione dell'indice qNOX.

Rapporto di Burst Suppression (BSR)

Compreso nell'intervallo 0-100, il Rapporto Burst Suppression (BSR) fornisce la percentuale di tempo trascorso in cui si è osservato un EEG piatto negli ultimi 30 secondi, parametro utile per rilevare l'anestesia profonda. Quando l'anestesia è molto profonda, viene osservato nell'EEG un fenomeno specifico denominato Burst Suppression: periodi di EEG piatto (EEG soppresso) interrotti da periodi con EEG di ampiezza più elevata (Burst ovvero "scoppio").

Indice di segnale elettromiografico (EMG)

L'indice EMG si riferisce alla componente di attività elettrica dei muscoli facciali inclusa nella registrazione EEG. L'energia EMG rilevata è compresa nella gamma di frequenza 30-42 Hz. L'attività EMG può aumentare per:

- reazioni riflesse a stimoli dolorosi durante l'intervento
- attività o rigidità muscolare

Indice di qualità del segnale

L'indice di qualità del segnale, con una scala adimensionale nell'intervallo 1-100, rappresenta la qualità del segnale EEG ed è calcolato sulla base della quantità di artefatti rilevati.

Modello matematico utilizzato per lo sviluppo del qNON e qNOX

Il qNON elabora le informazioni dell'EEG frontale e riflette il livello di anestetico stimato come un numero adimensionale compreso tra 99 (completamento sveglia) e 0 (EEG isoelettrico) e l'algoritmo si basa su quattro parametri spettrali, calcolati dall'energia del segnale di diverse bande di frequenza EEG. Prima del calcolo di questi parametri, l'EEG registrato viene controllato per la presenza di artefatti, utilizzando un rigetto di artefatti di routine. Un sistema d'interferenza neuro sfocata adattativa ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Interference System) costituisce il nucleo dell'algoritmo utilizzato per valutare il livello di anestetico. In breve, i singoli parametri rappresentano il rapporto di energia logaritmica tra le classiche bande theta, alfa, beta e gamma dell'EEG e l'energia totale nella gamma di frequenza del segnale da 1 a 44 Hz. L'ANFIS combina questi parametri e un parametro di soppressione del burst (esplosione) usando regole stabilite, generando un indice che corrisponde al livello anestetico. Gli indici qCON ≥ 80 corrispondono allo stato di veglia o sedazione leggera e l'intervallo di indici da 60 a 40 corrisponde al livello di anestetico adatto per un'anestesia adeguata. Gli indici inferiori sono associati all'anestesia profonda e alla soppressione del burst. Per rilevare la sua soppressione, il qNON calcola un rapporto di Soppressione Burst (BSR) che è definita come la frazione dell'attività EEG soppressa entro 30 secondi che varia da 0 a 100%. Il qNOX è stato sviluppato adattando l'EEG a una scala di riferimento. Il livello di riferimento è composto dai livelli di Ramsay 5 e 6, valutati applicando la pressione del letto ungueale e se il paziente rimuove la mano, questo viene interpretato come risposta a una stimolazione nocicettiva. I livelli OAAS (Observer Assessment of Alertness and Sedation) 1 e 0 vengono utilizzati anche per generare la scala di riferimento. La base del qNOX sono i quattro rapporti, che vanno da 1 a 44 Hz. Il qNOX viene compensato con il qNON; se qNON è al di sotto di 25, si assume che il paziente è in anestesia molto profonda perché la risposta allo stimolo nocicettivo è improbabile. La figura 4 riepiloga la misura dell'effetto del farmaco e i parametri utilizzati con l'EEG per i vari sistemi di monitoraggio.

Vantaggi di questa tecnologia innovativa

Il contenuto innovativo di questa tecnologia non

IL QNON ELABORA LE INFORMAZIONI DELL'EEG FRONTALE E RIFLETTE IL LIVELLO DI ANESTETICO STIMATO COME UN NUMERO ADIMENSIONALE COMPRESO TRA 99 (COMPLETAMENTO SVEGLIO) E 0 (EEG ISOELETTRICO)

si limita agli aspetti tecnologici in quanto è l'unico dispositivo capace di aggiungere al monitoraggio dell'ipnosi quello della nocicezione, entrambi indicizzati in modo da permettere una lettura immediata e non dipendente da un'utente. Alla base di questa innovazione, è il monitoraggio della funzione cerebrale, attraverso una misura diretta del segnale elettroencefalografico "grezzo" senza alcun modello statistico, grazie alla capacità di discriminare il contenuto di tale segnale in tempo reale, fornendo un quadro dello stato di coscienza e della nocicezione del paziente sottoposto a trattamento ipnotico e analgesico. La tecnologia ricorre a una particolare implementazione delle reti neurali volta sia alla realizzazione del machine learning dotata di intelligenza artificiale sia a unirla a un particolare sistema di filtraggio del segnale in grado di rimuovere gli artefatti, prima che il segnale stesso possa essere analizzato dal processore. Gli indici qNON (coscienza) e qNOX (nocicezione) sono entrambi derivati dalla misura diretta del segnale elettroencefalografico grezzo, entrambi offrono un monitoraggio in tempo reale ed entrambi sono letti dallo stesso sensore posto sulla fronte del paziente. Per discriminare ipnosi e analgesia, si utilizza la trasformazione di Fourier del segnale EEG, al fine di separare i contenuti energetici delle cinque bande caratteristiche dell'attività cerebrale (Alfa, Beta, Gamma, Delta e Theta). Questo sistema analizza le energie delle cinque bande ottenute, utilizzando un peso diverso a seconda che si voglia visualizzare il qNON o il qNOX: per l'ipnosi (qNON), hanno un peso maggiore le onde Beta, tipiche dell'attività cerebrale fisiologica di un cervello "sveglio"; per l'analgesia (qNOX) hanno un peso maggiore le onde Gamma (caratteristiche dei segnali afferenti dalla periferia, conseguenti ad uno stimolo algico). Diversi studi hanno dimostrato che qNON è capace di predire la perdita di coscienza come la perdita del comando verbale e del riflesso della ciglia mentre il qNOX è abile a prevedere meglio la risposta a stimoli nocivi come l'inserimento della maschera laringea. I due indici sono pertanto capaci di rilevare le differenze tra i tempi delle azioni degli agenti ipnotici ed analgesici dove: il qCON mostra una diminuzione più rapida durante l'induzione; il qNOX mostra un aumento più rapido durante il recupero. Tutto ciò dimostra la probabilità di risposta a stimoli nocivi prima che il paziente riprenda coscienza così come valutato dal qCON. L'indice qNOX potrebbe essere quindi interpretato come un indice di eccitabilità perché indica la probabilità che il paziente si svegli.