# PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

## TRAUMATISMO ENCÉFALO CRANEANO (TEC)

Un paciente con un TEC leve es una persona que ha sufrido una lesión traumática en el encéfalo, causando una alteración en la función neurológica, manifestada por una de las siguientes características; periodo de pérdida de conciencia, pérdida de memoria para acontecimientos inmediatamente antes o después del accidente, alteración en el estado mental en el momento del accidente (ejemplo: sentirse aturdido, desorientado o confundido) y déficit neurológico focal. Cuando se observa una pérdida de conciencia de aproximadamente 30 o más minutos, un GCS menor a 13 y amnesia postraumática con una duración mayor a las 24 horas, entonces se considera una lesión grave (Head, 1993). La gravedad puede ser clasificada en leve, moderada o severa en base a GCS (Tabla 2-1) La lesión cerebral leve, GCS 13 – 15, es en la mayoría de los casos una conmoción cerebral y hay una recuperación neurológica completa, aunque muchos de estos pacientes presentan problemas de memoria y concentración a corto plazo. En pacientes con un TEC moderado, GCS 9 - 13, se encuentra letárgico, y en lesiones graves, GCS 3 – 8, el paciente se encuentra en coma, incapaz de abrir los ojos o seguir órdenes (Ghajar, 2000).

El cráneo es una estructura inextensible, rígida y la presión en su contenido se ve regida por las variaciones del volumen de su contenido. El volumen dentro de la cavidad intracraneana es constante variando de 1.200 a 1.400 ml. En condiciones normales la PIC es inferior a 10mmHg y se encuentra determinada por el volumen cerebral (85% = 1.020 – 1190 ml) líquido cefalorraquídeo (LCR) (10% = 120-140 ml) y volumen sanguíneo (5% = 60-70 ml).

Los vasos sanguíneos tienen distintos grados de distensibilidad (grado de variación del volumen ante cambios de presión) y pueden modificarse en proporciones diferentes en respuesta a cambios de la PIC. La Ley de Monro-Kellie considera que el contenido intracraneal se encuentra compuesto por tres elementos principalmente, cerebro, sangre y LCR. Expresa que la PIC depende de las variaciones del volumen de estos elementos intracraneanos, dentro de este espacio cerrado no distensible. La variación de uno de los volúmenes genera cambios en sentido opuesto en los restantes. El aumento del volumen cerebral, producirá la reducción del volumen sanguíneo venoso y del LCR, con el fin de mantener estable la PIC, dentro de un rango muy restringido. Inicialmente se reduce el volumen venoso, pero su capacidad de distensibilidad se agota mucho antes que la del LCR ante el aumento progresivo y sostenido de la PIC, mientras que el volumen arterial es el menos distensible, e incluso puede generar aumento de la PIC. En estas condiciones, la reducción de la presión de perfusión cerebral (PPC) induce vasodilatación arterial que incrementa el flujo sanguíneo cerebral (FSC) y por tanto del volumen sanguíneo cerebral (VSC), provocando una elevación de la PIC. (Jeremitsky, Omert, Dunham, Protetch, & Rodriguez, 2003).

La primera reacción para mantener constante el flujo consiste en una disminución en la respuesta vascular cerebral (RVC). Otro factor que tiene gran relevancia en el control del tono vasomotor es la PaCO2. Aumentos en la PaCO2 producen vasodilatación y aumento del FSC con aumento de PIC. En cambio la disminución de la PaCO2 producirá vasoconstricción con disminución del FSC y de la PIC. Este fenómeno constituye la base del empleo de la hiperventilación como tratamiento de la HTIC (Arjona Villanueva, Borrego Domínguez, Huidobro Labarga, Fernandez Barrio, & Verdú Perez, 2008).

En consecuencia, al ser la cavidad intracraneana un compartimiento no distensible, pequeños aumentos de volumen, en cualquiera de los elementos mencionados, generarán grandes aumentos de la presión intracraneana al superar los 20 mmHg, como se puede observar en la Figura 2-1, el aumento de la PIC somete el tallo encefálico a hipoperfusión e isquemia, lo cual desencadena un aumento paralelo de la actividad del sistema nervioso autónomo simpático y parasimpático que trata de aumentar el volumen latido (la cantidad de sangre expulsada en cada latido) y la presión arterial a niveles que superen la presión ejercida sobre el tallo encefálico, en aras de vencer la resistencia vascular al FSC generada por el aumento de la PIC. Esta respuesta fisiológica ante la elevación de la PIC, conocida como Fenómeno o Ley de Cushing, se caracteriza clínicamente por hipertensión arterial sistémica y bradicardia (disminución de la frecuencia cardíaca) (Ruz, 2009).

Tabla 2‑1 Escala de coma de Glasgow, identifica el nivel de conciencia en pacientes graves

|  |  |
| --- | --- |
| Respuesta motriz |  |
| Obedece órdenes | 6 |
| Localiza el dolor | 5 |
| Se retira al dolor | 4 |
| Flexiona al dolor | 3 |
| Extiende al dolor | 2 |
| Sin respuesta | 1 |
| Apertura ocular |  |
| Espontanea | 4 |
| A órdenes verbales | 3 |
| Al dolor | 2 |
| Sin respuesta | 1 |
| Respuesta Verbal |  |
| Orientado | 5 |
| Conversación confusa | 4 |
| Palabras inapropiadas | 3 |
| Sonidos incomprensibles | 2 |
| Sin respuesta | 1 |
| Máxima puntuación posible | 15 |
| Mínima puntuación posible | 3 |

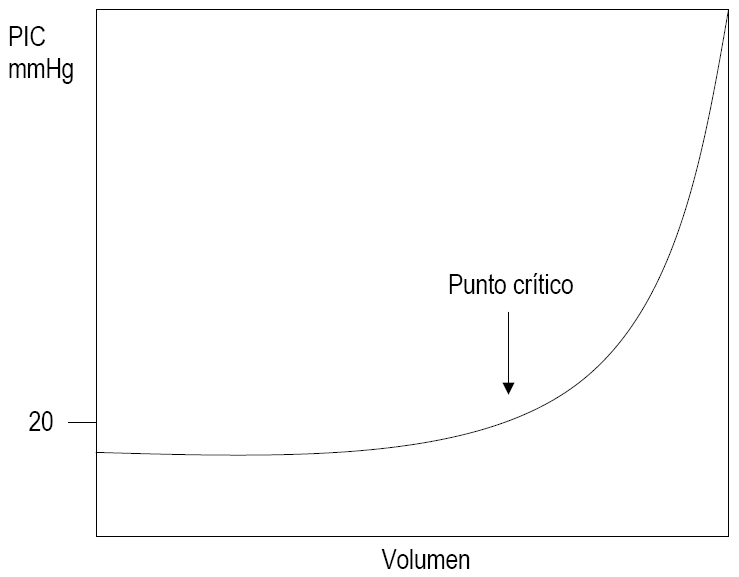


Figura 2‑1 Curva de presión–volumen. Al alcanzarse el punto crítico de presión intracraneana (PIC), pequeños aumentos de volumen, generan grandes cambios de la PIC, que impide el mantenimiento del flujo sanguíneo cerebral adecuado (Varas Rivera, 2013).

## HIPERTENSIÓN INTRACRANEANA

Los tres componentes más importantes al interior del cráneo (LCR, sistema vascular cerebral y cerebro) se encuentran en un delicado equilibrio, existiendo una relación de presión y volumen entre ellos. Una característica importante es que el recipiente que los aloja, el cráneo, no es una estructura expansible, lo que implica que un cambio en el volumen de alguno de los 3 componentes genera la reacción de alguno de los otros componentes con el objetivo de mantener una presión estable. Por ejemplo, si un paciente sufre de encefalitis, que es una inflamación (o hinchazón) del cerebro, esto conlleva a que los vasos sanguíneos se compriman provocando un incremente de la PIC, así como un descenso del FSC. La PIC se considera normal dentro de un umbral entre 5 y 15 mmHg en niños (Arjona Villanueva, Borrego Domínguez, Huidobro Labarga, Fernandez Barrio, & Verdú Perez, 2008), siendo considerado normal hasta 20mmHg en adultos. Superando ese umbral de presión es necesario tomar alguna acción terapéutica para su disminución y se dice que el paciente presenta una hipertensión intracraneal (HTIC).

La HTIC potencialmente puede tener consecuencias catastróficas, incluyendo daño neurológico permanente. Además, puede ser provocada por distintos factores, como una infección del sistema nervioso central, edema cerebral, hemorragia cerebral o algún problema isquémico, o un TEC (Arbour, 2004).

Un paciente que sufre un TEC severo podría presentar un aumento en su PIC, por lo que es importante su monitoreo y de este modo disminuir la incertidumbre al momento de tomar una decisión en el diagnóstico y futuro tratamiento, sin embargo, no en todos los casos es factible realizar un monitoreo a esta variable, debido a la invasiva forma en la que se realiza este control. Esto podría llegar a ser incluso contraproducente en algunos casos, como es la pre-eclapsia que afecta el 8% de las mujeres embarazadas, se cree que una PIC elevada es una de las responsables de las complicaciones neurológicas que les afecta. Por lo tanto, realizar métodos invasivos son claramente inadecuados en pacientes que sufren pre-eclapsia, ya que ponen en riesgo tato la vida de la madre como de su hijo(a) (Sanhueza, 2011).

Por lo tanto, un paciente con TEC podría ver alterada su PIC (elevada), lo que implica que su FSC es afectado y estar expuesto a las potenciales graves consecuencias que la HTIC conlleva

## ESTADO DEL ARTE

El SAC ha sido estudiado por muchos autores a lo largo de los años, utilizando distintas técnicas y herramientas para modelar el problema.

Lassen (Lassen, 1959) propone el modelamiento del SAC utilizando métodos estáticos. Su objetivo es analizar una relación entre el FSC y la presión sanguínea arterial (PSA). Este modelo fue la base para el desarrollo de modelos estáticos y eventualmente de los dinámicos. Este trabajo es considerado como el primer intento de medir el flujo sanguíneo cerebral en humanos en el año 1941.

Otro análisis desarrollado con modelos estáticos es el de Czonsnyka (Czosnyka, Smielewski, Kirkpatrick, & Pickard, 1996) el cual realiza el análisis de la regresión lineal adoptando el coeficiente de correlación como medición de la dependencia del FSC en la PSA.

En el año 1982 Aaslid (Aaslid, 1982) comienza a utilizar el Doppler Transcraneal en el estudio de pacientes con enfermedades cerebrovasculares. Este revolucionario invento, abrió la posibilidad de realizar mediciones no invasivas de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral (VFSC) a través de la determinación de algunos parámetros del flujo sanguíneo en las porciones proximales de los grandes vasos intracraneales. Se fundamenta en el cambio de eco emitido por una fuente de sonido en movimiento: al acercase a un receptor se incrementa la frecuencia percibida y al alejarse disminuye. De esta manera es posible determinar la velocidad y la dirección del flujo sanguíneo basado en el cambio de frecuencia.

Un estudio que utilizó modelos lineales fue la investigación de Panerai (Panerai, 1998). Realizaron estimaciones del comportamiento que tenía el SAC por medio de variaciones espontáneas de presión (VEP). Se demostró que pequeñas fluctuaciones de la PIC influyen directamente en las mediciones de la PPC, situación que era esperable debido a que en las VEP cualquier perturbación es importante.

Durante el tiempo en que se ha estudiado el sistema de autorregulación del flujo sanguíneo cerebral como un sistema dinámico, se han podido distinguir dos líneas de estudio, en la primera se encuentran aquellas investigaciones en donde sus trabajos consisten en evaluar sujetos en los cuales se les aplica un cambio inducido de presión, es decir, utilizando la maniobra de Valsalva, manguitos u otra. La segunda línea investigativa tiene relación con la creación de modelos en base a VEP. Esta área de estudio de la autorregulación contempla las fluctuaciones naturales de presión en un individuo, estas fluctuaciones generan pequeños escalones de presión, produciendo variaciones en el SAC, con el objetivo de mantener el FSC constante. El estudio actual corresponde a la categoría de la segunda línea investigativa, VEP.

Ruz (Ruz, 2009)realiza un estudio de la autorregulación de sujetos con TEC por medio de VEP. Se realizó un modelo multivariado de dos entradas en donde incluyó la PIC como nueva variable de estudio, junto a la PAM, a través de la realización de modelos dinámicos basados en aprendizajes. Realizó modelos lineales y no lineales del SAC, estableciendo una relación entre el SAC y la evolución futura de un paciente. Los resultados de este trabajo permitieron estudiar la predicción de sobrevivencia en pacientes enfermos por medio del índice de autorregulación ARI (hasta ese entonces no existía el índice mfARI). Además, es importante destacar que por medio de esta variable Ruz pudo dar a conocer la influencia que tenía las variables hemodinámicas PAM y PIC en el comportamiento del SAC. Se utilizaron como herramientas, las regresiones en SVM para realizar un modelo lineal y no lineal (ARX y NARX), por lo que es el modelo que presenta una mayor cercanía al expuesto en el presente trabajo

El trabajo de Varas (Varas, 2013) utiliza SVM para realizar un modelo lineal y no lineal (FIR y NFIR). Este estudio también destaca por crear un modelo univariado y multivariado (dos entradas) del SAC. Varas busca evaluar la autorregulación de pacientes con TEC por medio de modelos lineales y no lineales. En este trabajo, a diferencia del realizado por Ruz, se opta por la utilización de modelos no autorregresivos ya que esto ya lo había realizado Ruz previamente. Se consideró un modelo de caja negra que utilizaba señales capturadas de pacientes con TEC para así concluir a partir de los resultados que entreguen los índices ARI y mfARI. Se analizó la influencia que tenía la PAM y la PIC en conjunto y por separado sobre el modelo. La variable PIC tiene directa relación con la condición de salud de los pacientes con TEC por lo que es de suma importancia analiza su contribución al modelo, sin embargo el modelo univariado con entrada PIC y salida VFSC no se hizo ya que Muñoz el año 2009 ya lo había realizado.

Entre los modelos no lineales, destacan los trabajos con uso de redes neuronales (Nuñez, 2003; Muñoz, 2004; Panerai *et al.*, 2004a; Chacón *et al.*, 2005) y por último aquellos realizados mediante *máquinas de vectores soporte* (SVM) (Díaz, 2005; Araya, 2006; Bello, 2007).

Chacón, Panerai, Araya y Muñoz (Chacon, Araya, & Muñoz, 2009) demostraron que las Support Vector Machine (SVM) son mejores que las redes neuronales para tratar el problema de la autorregulación cerebral.

El año 2007 Bello (Bello Robles, 2007) estudió un grupo de sujetos sanos para analizar la interacción que existe entre la PCC y el CO2 en el SAC, bajo VEP, mediante máquinas de vectores soporte. Demostró que existía un comportamiento opuesto entre la PCC y el CO2, es decir, entre más alta sea la PCC más bajo será el CO2, esta información es de suma importancia para la evaluación del sistema de autorregulación, por ejemplo, en sujetos que presenten una Hipertensión intracraneal, debido a que su tratamiento se encuentra ligado directamente con la Hiperventilación producto del aumento de la variable CO2.

El trabajo realizado por Tingying Peng (Peng, Rowley, Ainslie, Poulin, & Payne, 2007), consiste en un modelo multivariado dinámico de tres entradas, la presión arterial, el dióxido de carbono y el oxígeno, por medio de PETCO2 y PETO2, considerando como salida la velocidad del flujo sanguíneo cerebral. El trabajo de Peng es de suma importancia para la presente investigación debido a la evaluación que realiza del CO2 en la vasodilatación y vasoconstricción en el SAC, y es éste uno de los puntos a considerar al momento de evaluar la hiperventilación por medio de la PCC, de acuerdo al estudio realizado por Bello (Bello Robles, 2007) que realiza una comparación de estas dos variables.