CAPÍTULO 16

Microcirculación y sistema linfático: intrcambio de líquido capila, líquido intersticial y flujo linfático.

Microcirculación🡪permite el transporte de nutrientes hacia los tejidos y la eliminación de los restos celulares.

CADA TEJIDO CONTROLA SU PROPIO FLUJO SANGUÍNEO DEPENDIENDO DE SUS NECESIDADES INDIVIDUALES. El flujo sanguíneo hacia los tejidos es controlado por las arteriolas.

Estructura de la microcirculación y del sistema capilar.

Cada arteria nutricia se ramifica 6 u 8 veces antes de que las arterias sean suficientemente pequeñas para denominarse arteriolas.

Las arteriolas se dividen entre 2 y 5 veces. Éstas son vasos muy musculares y sus diámetros son variables.

Metaarteriola🡪es una arteriola terminal. No tienen capa muscular continua sino fibras musculares lisas que rodean el vaso en puntos intermitentes.

Esfínter precapilar🡪es una fibra muscular lisa que rodea el capilar justo en el punto donde el capilar se origina de la metaarteriola. Permite abrir y cerrar la entrada al capilar.

Las metaarteriolas y esfínteres precapilares están en contacto con los tejidos para controlar el flujo sanguíneo local de cada pequeño territorio tisular a partir de los efectos directos que provocan las condiciones del tejido, las concentraciones de nutrientes, productos finales del metabolismo, iones H, entre otros.

La pared de los capilares está compuesta por una capa unicelular de células endoteliales y está rodeada por una membrana basal muy fina en el exterior del capilar.

La membrana de los capilares posee hendiduras-poro que se forman a partir de espacios intercelulares que hay en las células endoteliales. Estos poros permiten el paso rápido de agua, iones hidrosoluble y pequeños solutos.

Además de poros la membrana capilar tiene caveolas, formadas a partir de caveolinas que se asocian a colesterol y esfingolípidos. Las caveolas permiten endocitosis y transporte de macromoléculas a través de la membrana celular.

Tipos especiales de poros en los capilares de algunos órganos

Cerebro🡪tiene uniones estrechas, en las células endoteliales, que permiten la entrada y salida de moléculas muy pequeñas como agua, O2 y CO2 en los tejidos cerebrales. Estas uniones estrechas hacen que los capilares sean continuos y por ello se forma la barrera hematoencefálica, la cual limita la permeabilidad del tejido cerebral a muchas sustancias.

Hígado🡪los espacios entre células endoteliales capilares son aperturas amplias, por lo tanto casi todas las sustancias disueltas en el plasma, hasta las proteínas, pueden pasar de la sangre a los tejidos hepáticos.

Membranas capilares gastrointestinales🡪poseen poros intermedios entre las de los músculos y las del hígado.

Capilares glomerulares del riñon🡪tienen numerosas membranas ovales denominadas fenestraciones, por lo que pueden filtrarse cantidades enormes d moléculas pequeñas e iones a través de los espacios situados entre células endoteliales.

FLUJO DE SANGRE EN LOS CAPILARES: VASOMOTILIDAD

VASOMOTILIDAD🡪ES LA INTERMITENCIA QUE EXISTE EN EL FLUJO DE LOS CAPILARES, ES DECIR QUE LA SANGRE DESAPARECE Y APARECE CADA POCOS SEGUNDOS O MINUTOS. Esto se debe a la contracción intermitente de las metaarteriolas y esfínteres precapilares.

EL FACTOR MÁS IMPORTANTE QUE REGULA LA VASOMOTILIDAD ES LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO EN LOS TEJIDOS.

Hay una velocidad media del flujo sanguíneo a través de cada lecho capilar tisular, una presión capilar media dentro de los capilares y una velocida de transferencia media de las sustancias entre la sangre de los capilares y el líquido intersticial circundante.

INTERCAMBIO DE AGUA, NUTRIENTES Y OTRAS SUSTANCIAS ENTRE LA SANGRE Y EL LÍQUIDO INTERSTICIAL

Difusión a través de la membrana capilar

El medio más importante por el que se transfieren sustancias entre el plasma y el líquido intersticial es la difusión. Ésta permite que se mantenga la mezcla continua entre el líquido intersticial y el plasma.

La difusión es consecuencia del movimiento térmico de las moléculas de agua y otras sustancias disueltas en el líquido, desplazándose primero en una dirección y luego en otra.

LAS SUSTANCIAS LIPOSOLUBLES COMO EL O2 Y CO2 DIFUNDEN DIRECTAMENTE A TRAVÉS DE LAS MEMBRANAS CELULARES DEL ENDOTELIO CAPILAR. Estas sustancias tienen velocidades de transporte mucho más rápidas.

LAS SUSTANCIAS HIDROSOLUBLES Y NO LIPOSOLUBLES, COMO AGUA, IONES SODIO, CLORURO Y GLUCOSA, DIFUNDEN SÓLO A TRAVÉS DE POROS INTERCELULARES EN LA MEMBRANA CAPILAR.

El agua del plasma se intercambio con el agua del líquido intersticial 80 veces antes de que el plasma pueda recorrer todo el capilar.

LA PERMEABILIDAD DE LOS POROS CAPILARES PARA DISTINTAS SUSTANCIAS VARÍA SEGÚN SUS DIÁMETROS MOLECULARES.

LA VELOCIDAD DE LA DIFUSIÓN ESTÁ DETERMINADA POR LA DIFERENCIA DE CONCENTRACION DE LAS SUSTANCIAS QUE EXISTE ENTRE EL INTERIOR Y EL EXTERIOR DEL CAPILAR.

Las velocidades de difusión a través de la membrana capilar de las sustancias más importantes para la nutrición son tan grandes que sólo diferencias pequeñas de concentración son suficientes para que el transporte entre el plasma y el líquido intersticial sea más que adecuado.

FACTORES QUE DETERMINAN LA DIFUSIÓN EN LOS CAPILARES

LIPOSOLUBILIDAD

DIÁMETRO MOLECULAR

DIFERENCIA DE CONCENTRACIÓN DE LAS SUSTANCIAS

INTERSTICIO Y LÍQUIDO INTERSITICIAL

El intersticio representa la sexta parte del volumen total del organismo y en él se encuentra el líquido intersticial.

El intersticio posee dos tipos de estructuras sólidas, haces de fibras de colágeno y filamentos de proteoglicano.

El líquido intersticial deriva por filtración y difusión de los capilares. Contiene casi los mismos componentes que el plasma, excepto por concentraciones mucho más bajas de proteínas.

Gel tisular🡪es una combinación de filamentos de proteoglicano y líquido atrapado dentro de ellos.

Existe una pequeña cantidad de líquido que no se une a los filamentos de proteoglicano y se denomina líquido libre. Cuando existe edema en los tejidos la cantidad de líquido libre es mayor y fluye libremente.

PRESIÓN HIDROSTÁTICA, COLOIDOSMÓTICA Y COEFICIENTE DE FILTRACIÓN CAPILAR

Presión hidrostática🡪empuja el líquido y sustancias a través de los poros.

Presión coloidosmótica🡪es generada por las proteínas plasmáticas. Provoca el movimiento del líquido desde los espacios intersticiales hacia la sangre.

El sistema linfático tiene importancia, al devolver a la circulación las pequeñas cantidades del exceso de proteína y liquido que se pierde desde la sangre hacia los espacios intersticiales.

Fuerzas de Starling

Estas son las fuerzas que determinan si el líquido saldrá de la sangre hacia el líquido intersticial o viceversa.

Las fuerzas de Starling son:

* Presión capilar🡪 tiende a forzar la SALIDA del líquido a través de la membrana capilar.
* Presión del líquido intersticial🡪tiende a forzar la ENTRADA de líquido a través de la membrana capilar.
* Presión coloidosmótica del plasma en el capilar🡪tiende a provocar ÓSMOSIS de líquido hacia el INTERIOR a través de la membrana capilar.
* Presión coloidosmótica del líquido intersticial🡪tiende a provocar ÓSMOSIS de líquido hacia el EXTERIOR a través de la membrana capilar.

Si la SUMA de las FUERZAS DE STARLING es POSITIVA se genera FILTRACIÓN.

Si la SUMA de las FUERZAS DE STARLING es NEGATIVA se genera ABSORCIÓN.

Coeficiente de filtración🡪es la medición de la capacidad de la membrana capilar de filtrar agua para una presión de filtración neta determinada. Este coeficiente está determinado por el número y tamaño de los poros de cada capilar así como el número de capilares en los que fluye la sangre.

Presión hidrostática capilar

Se ha medido por medio de:

Canulación directa de los capilares con micropipeta

La presión capilar media es de 25 mmHg en músculo esquelético y aparato digestivo. En los extremos arteriales 30 a 40 mmHg y en los extremos venosos 10 a 15 mmHg.

En capilares glomerulares 60 mmHg.

En capilares peritubulares 13 mmHg.

Determinación funcional indirecta por método isogravimétrico

La presión capilar es de 17 mmHg en músculo esquelético y aparato digestivo.

Este método equilibra exactamente todas las fuerzas que tienden a desplazar el líquido hacia adentro o hacia afuera de los capilares.

Presión hidrostática del líquido intersticial

En el tejido subcutáneo poco compacto la presión del líquido intersticial es negativa, debido a que es menor que la presión de la presión atmosférica.

En tejidos rodeados por cápsulas, como los riñones, la presión intersticial suele ser positiva.

Determinación de la presión del líquido interticial mediante la micropipeta🡪las presiones obtenidas alcanzan un promedio de -2 mmHg.

Determinación de la presión del líquido libre intersticial en las cápsulas huecas perforadas🡪en el tejido subcutáneo laxo normal alcanza un promedio de -6 mmHg pero en cápsulas más pequeñas los valores no difieren tanto de los -2 mmHg.

Presión del líquido intertistial en tejidos firmemente encapsulados

Algunos tejidos del organismo están rodeados por una carcasa rígida, en la mayoría de ellos, e independientemente del método usado para la determinación, la presión del líquido intersticial suele ser positiva.

La presión del líquido intersticial en el cerebro es de +4 a +6 mmHg. La presión del líquido intersticial renal alcanza un promedio de +6 mmHg. Por ello se dice que la presión normal del líquido intersticial es varios mmHg negativa con respecto a la presión que rodea a cada tejido.

Presiones en las cavidades del organismo:

* Espacio interpelural🡪 -8 mmHg
* Espacio sinovial articular🡪 -4 a -6 mmHg
* Espacio epidural🡪 -4 a -6 mmHg

La presión del líquido intersticial varía cuando se dan los siguientes cambios:

* Aumento o disminución de la P/A
* Inyectar un líquido en el espacio tisular circundante
* Inyectar un agente coloidosmótico concentrado en la sangre, que absorba el líquido desde los espacios tisulares.

LA PRESIÓN VERDADERA DEL LÍQUIDO INTERSTICIAL EN EL TEJIDO LAXO ES ALGO MENOR QUE LA ATMOSFÉRICA, CON PROMEDIO DE -3 mmHg.

El sistema linfático es eliminador, ya que extrae el exceso de líquido, moléculas proteicas, restos celulares y otras sustancias de los espacios tisulares.

La presión negativa que se ha medido en el líquido intersticial se debe a que cuando el líquido entra en los capilares linfáticos terminales las paredes de los vasos linfáticos se contraen durante unos segundos y bombean el líquido hacia la circulación sanguínea.

Presión coloidosmótica del plasma

Las proteínas son las responsables de crear las presiones osmóticas a ambos lados de la membrana capilar.

L A PRESIÓN COLOIDOSMÓTICA NORMAL DEL PLASMA HUMANO TIENE UN PROMEDIO DE 28 mmHg, de os que 19 mmHg se deben a efectos moleculares de las proteínas y 9 mmHg se deben al efecto Donnan.

Efecto Donnan🡪presión osmótica extra causada por el Na, K y demás cationes que las proteínas mantienen en el plasma.

LA PRESIÓN OSMÓTICA SE ENCUENTRA DETERMINADA POR EL NÚMERO DE MOLÉCULAS DISUELTAS EN EL LÍQUIDO. Por tanto LA ALBUMINA ES LA PROTEÍNA QUE CONTIENE MAYOR NÚMERO DE MOLÉCULAS Y ÉSTA GENERARÁ MÁS PRESIÓN OSMÓTICA QUE OTRAS PROTEÍNAS PLASMÁTICAS.

PRESIÓN OSMÓTICA

80% 🡪DETERMINADO POR ALBUMINA

20% 🡪DETERMINADO POR GLOBULINAS

CASI NADA🡪DETERMINADO POR FIBRINÓGENO

Presión coloidosmótica del líquido intersticial

La concentración media de proteínas en el líquido intersticial sólo es del 40% de la plasmática, unos 3 g/dl. Por eso la presión coloidosmótica media del líquido intersticial para esta concentración proteica es de 8mmHg.

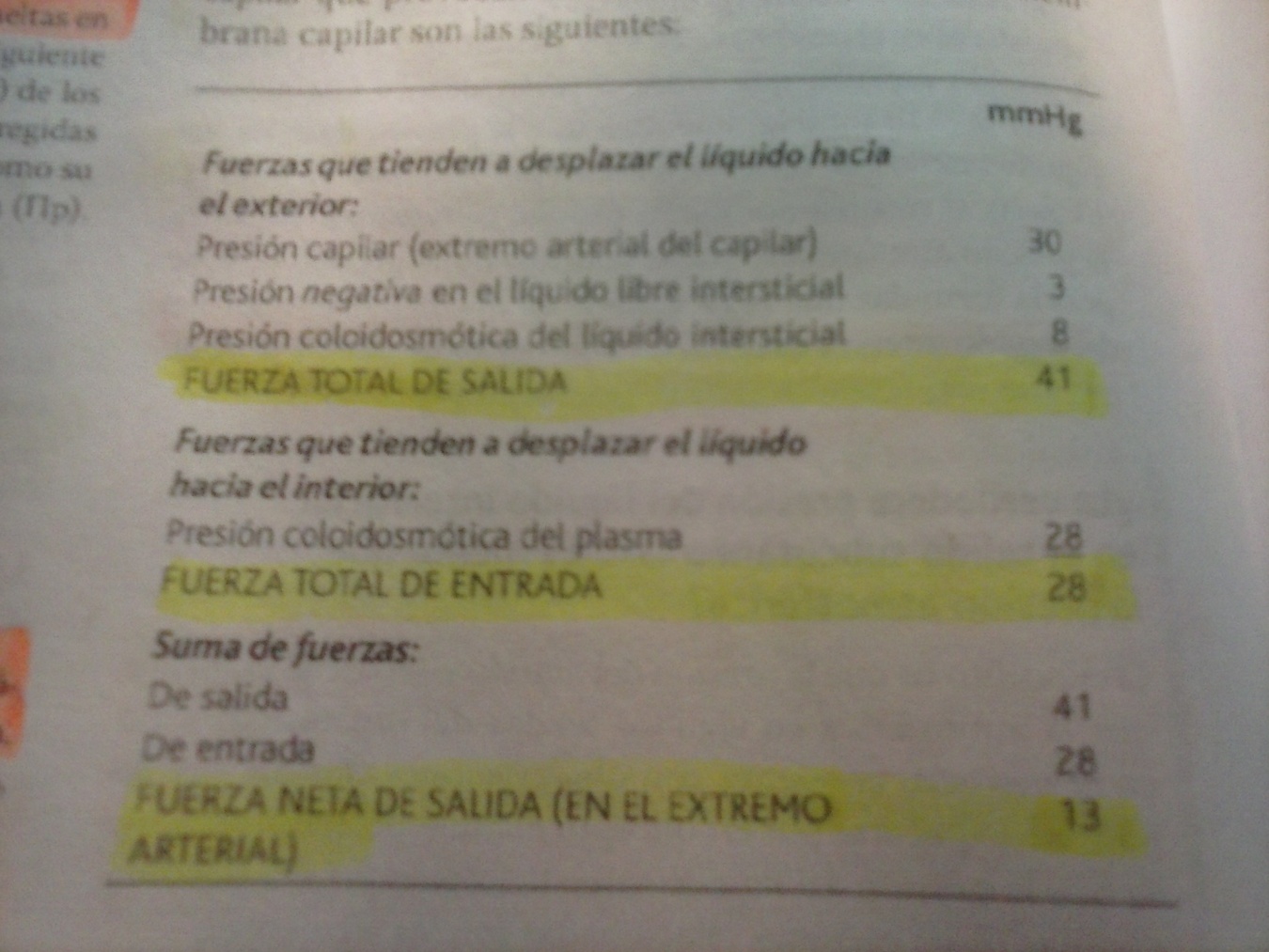
Intercambio de volumen de líquido a través de la membrana capilar

Fuerzas que provocan filtración en el extremo arterial

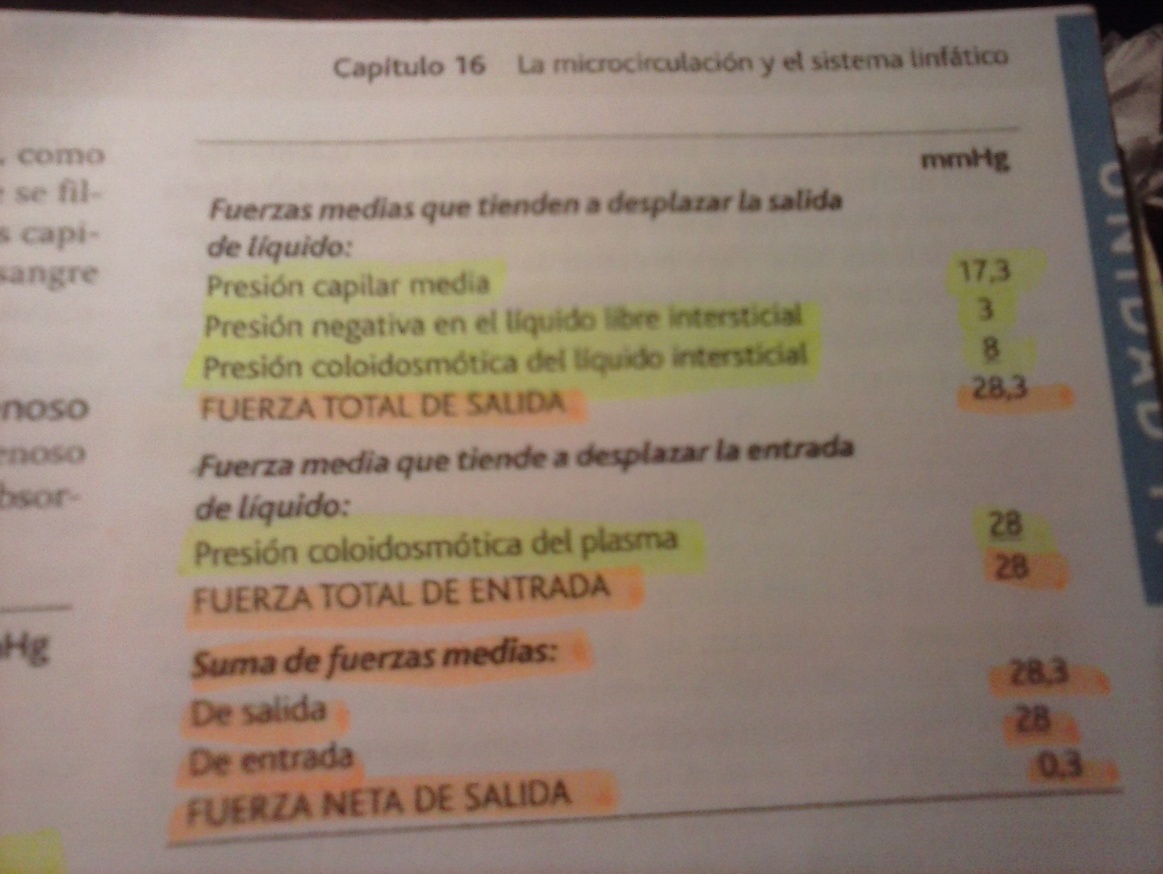
La presión capilar media en los extremos arteriales es mayor que en los extremos venosos del capilar.

La suma de las fuerzas en el extremo arterial del capilar da una fuerza neta de 13 mmHg, ésta tiende a desplazar el líquido hacia afuera a través de los poros capilares.

En los extremos arteriales del capilar las fuerzas que provocan la filtración son las siguientes y tienen los siguientes valores:



Fuerzas que provocan reabsorción en el extremo venoso

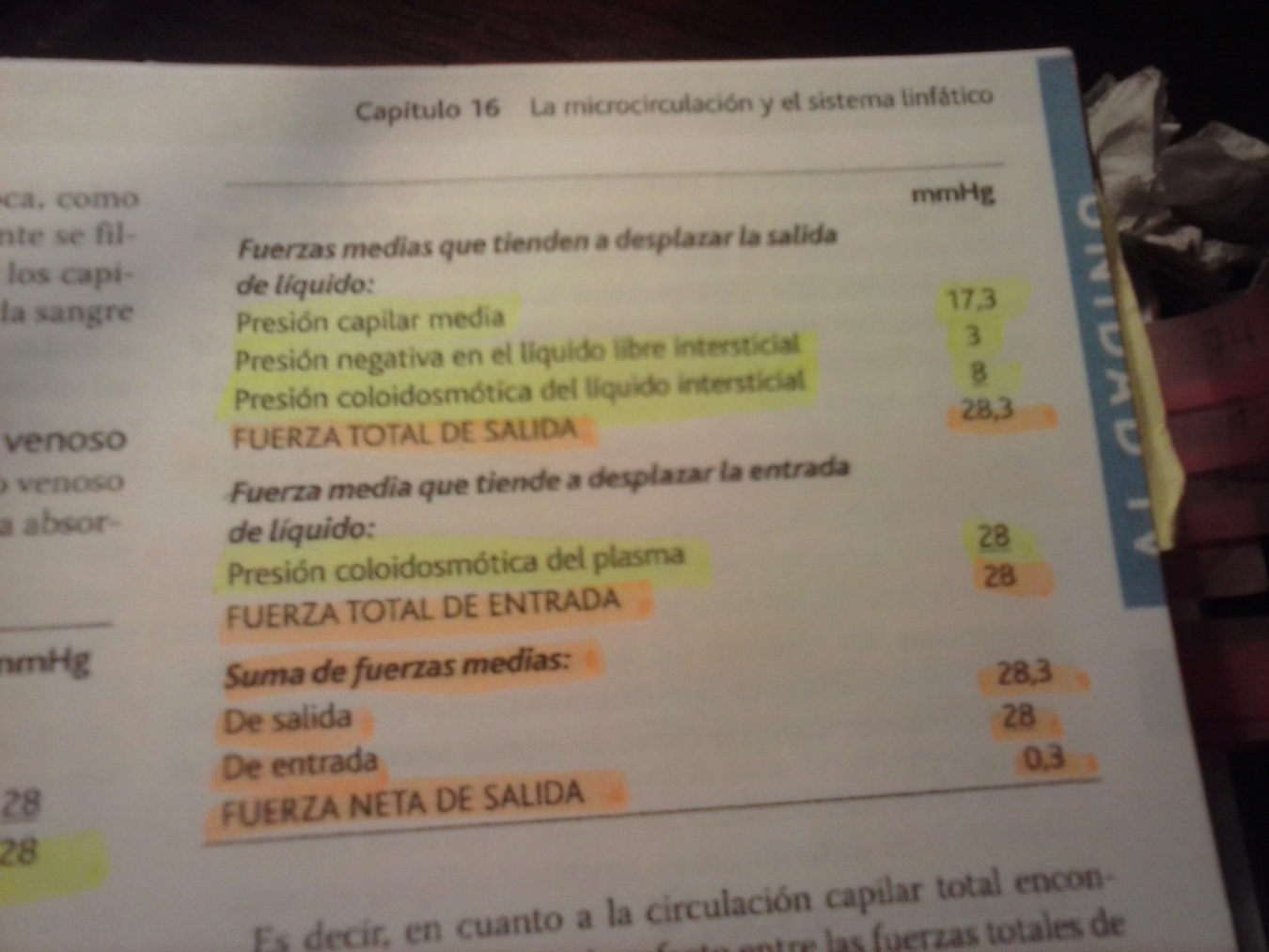
La suma de las fuerzas en el extremo venoso del capilar da una presión neta de reabsorción de 7 mmHg en el extremo venoso de los capilares.

Ya que los capilares venosos son más numerosos y más permeables necesita una menor presión de reabsorción para provocar la entrada del líquido.

En el extremo venoso las fuerzas son las siguientes y tienen los siguientes valores:

Equilibrio de Starling para el intercambio capilar

En condiciones normales existe un estado cercano al equilibrio, en el cual la mayoría de los capilares tienen una cantidad de líquido que se filtra en los extremos arteriales casi igual a la de líquido que se absorbe en los extremos venosos. El desequilibrio de este estado provoca el flujo hacia los vasos linfáticos, para que el líquido vuelva a la sangre.



Filtración neta🡪es el ligero exceso de filtración que se da por el desequilibrio de 0.3 en las fuerzas de Starling y es el líquido que debe volver a la circulación a través de los vasos linfáticos.

El coeficiente de filtración total tiene un valor de 6.67 ml/min de líquido por minuto por mmHg.

Concentraciones de proteínas en el líquido intersticial de:

* Músculos🡪 1.5 g/dl
* Tejido subcutáneo🡪 2 g/dl
* Intestino🡪 4 g/dl
* Hígado🡪6 g/dl

Alteraciones del equilibrio de las fuerzas de Starling

El aumento de la presión capilar media, que es 17 mmHg produce Edema. Esto debido a que el líquido comienza a acumularse en los espacios intersticiales ya que la filtración se hace mucho mayor que la reabsorción y por ello el sistema linfático no se da abasto para devolver a la circulación todo ese líquido filtrado.

La disminución de la presión capilar media produce aumento del volumen sanguíneo porque se producirá reabsorción neta de líquido en los capilares en lugar de filtración neta. Entonces al haber más líquido reabsorbido el volumen sanguíneo aumenta a expensas de éste.

Sistema linfático

Es una vía accesoria a través de la que el líquido puede fluir desde los espacios intersticiales hacia la sangre. Los linfáticos transportan las proteínas y las macropartículas de los espacios tisulares.

No hay vasos linfáticos en:

* Porciones superficiales de la piel
* SNC
* Endomisio de músculos y huesos.

Estas estructuras poseen canales perilinfáticos, que permiten el flujo del líquido intersticial y luego lo vacían en los vasos linfáticos. En el caso del cerebro en el LCR y después directamente pasa de vuelta a la sangre.

La cantidad de linfa es de 2 a 3 L al día.

El líquido que vuelve a la circulación a través de los linfáticos es muy importante porque las sustancias de alto peso molecular, como las proteínas, no pueden ser absorbidas desde los tejidos de ninguna otra forma, aunque pueden entrar en los capilares linfáticos casi sin ningún impedimento por esta estructura especial de los capilares linfáticos.

Los linfáticos tienen válvulas en los extremos de los capilares linfáticos terminales y también en el recorrido de los vasos mayores hasta el punto en que se vacían en la circulación sanguínea. Estas válvulas evitan el flujo retrógrado de líquido.

Formación de la linfa

LA LINFA DERIVA DEL LÍQUIDO INTERSTICIAL QUE FLUYE EN LOS LINFÁTICOS.

La concentración de proteínas en el flujo linfático de la mayoría de tejidos es en promedio 2 g/dl. En el hígado la linfa tiene una concentracion de 6 g/dl, en el intestino 3 a 4 g/dl y en el conducto torácico de 3 a 5 g/dl.

El sistema linfático es una vía principal de absorción de nutrientes del aparato digestivo, especialmente para la absorción de grasas.

Velocidad del flujo linfático

EL FLUJO LINFÁTICO ES 120 ml/h ó 2-3 L/día

Cualquier factor que aumente la presión del líquido intersticial aumenta el flujo linfático si los vasos linfáticos funcionan con normalidad.

Los factores que aumentan el flujo linfático son:

* Elevación de la presión hidrostática capilar (porque hace que salga más líquido)
* Descenso de la presión coloidosmótica del plasma (porque disminuye la entrada d líquido)
* Aumento de la presión coloidosmótica del líquido intersticial (porque se disminuye la salida de líquido)
* Aumento de la permebilidad de los capilares

En todos los vasos linfáticos hay válvulas y en cada segmento entre válvulas sucesivas hay una bomba automática independiente, dicha bomba se activa cuando hay llenado y ésta se contrae.

En un vaso linfático grande, como el conducto torácico, la bomba genera presiones de 50 a 100 mmHg.

Hay factores externos que comprimen intermitentemente el vaso linfático y provocan bombeo. Estos factores son:

* Contracción de músculos esqueléticos circundantes
* Movimiento de cada parte del cuerpo
* Pulsaciones de las arterias adyacentes a los linfáticos
* Compresión de los tejidos por objetos situados fuera del cuerpo

Las bombas linfáticas aumentan el flujo durante el ejercicio y lo disminuyen durante el reposo.

En los capilares linfáticos también existen bombas y cada vez que entra exceso de líquido en el tejido, provocando hinchazón tisular, los filamentos de anclaje tiran de la pared capilar linfática y el flujo entra en el capilar linfático terminal a través de los espacios entre células endoteliales.

FACTORES QUE DETERMINAN EL FLUJO LINFÁTICO

PRESIÓN DEL LÍQUIDO INTERSTICIAL

ACTIVIDAD DE BOMBA LINFÁTICA

El sistema linfático también es importante para controlar la concentración de proteínas en los líquidos intersticiales, el volumen del líquido intersticial y la presión del líquido intersticial.

La presión de los líquidos intersticiales se aumenta ya que continuamente se pierden proteínas desde los capilares hacia el intersticio, de esas proteínas perdidas muy pocas vuelven a la circulación a través de los extremos venosos por lo que se acumulan y de esta forma aumentan la presión.

El aumento de presión coloidosmótica hace que las fuerzas de Starling tengan un desplazamiento en su equilibriio, esto permite que las membranas capilares filtren líquido hacia el intersticio para aumenta el volumen de líquido en el intersticio.

El aumento de la presión del líquido intersticial aumenta la velocidad del flujo linfático.