પ્રકરણ 19

ઉત્સર્ગ પેદાશો અને તેનો નિકાલ
(Excretory Products and Their Elimination)

19.1 માનવ ઉત્સર્જનતંત્ર
19.2 મૂત્રનિર્માણ
19.3 નલિકાઓનાં કાર્યો
19.4 ગાળણની સાંદ્રતાની ક્રિયાવિધિ
19.5 મૂત્રપિંડના કાર્યનું નિયમન
19.6 મૂત્રનિકાલ
19.7 ઉત્સર્જનમાં અન્ય અંગોનો ફાળો
19.8 ઉત્સર્જનતંત્રની અનિયમિતતાઓ

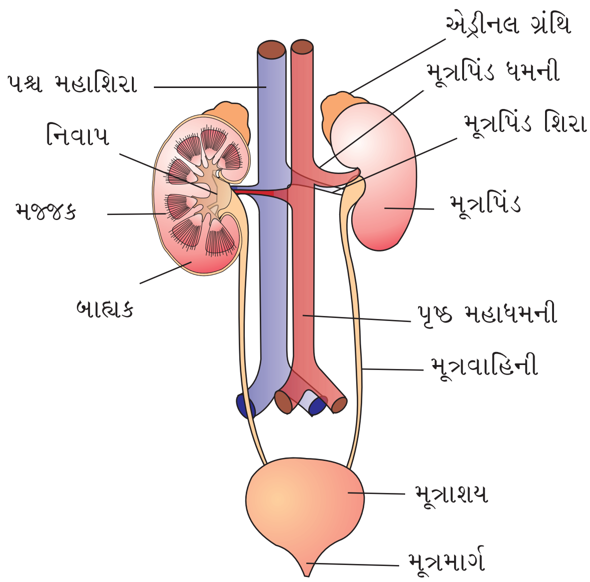
પ્રાણીઓ ચયાપચયિક ક્રિયાઓ કે વધુ પડતા અંતઃગ્રહણ દ્વારા એમોનિયા, યુરિયા, યૂરિક ઍસિડ, કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ, પાણી અને આયનો જેવા કે Na^+, K^+, Cl^-, ફૉસ્ફેટ, સલ્ફેટ વગેરેને એકઠા કરે છે. આ પદાર્થોનો સંપૂર્ણ અથવા અંશતઃ નિકાલ થવો જોઈએ. આ પ્રકરણમાં તમે આ પદાર્થો સાથે વિશેષ અર્થમાં સામાન્ય નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થોના નિકાલની ક્રિયાવિધિનો અભ્યાસ કરશો. પ્રાણીઓ દ્વારા ઉત્સર્જન કરવામાં આવતો નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો મુખ્યત્વે એમોનિયા, યુરિયા અને યુરિક ઍસિડ સ્વરૂપે હોય છે. એમોનિયા ખૂબ ઝેરી સ્વરૂપ છે અને તેના નિકાલમાં મોટા પ્રમાણમાં પાણીની જરૂરિયાત રહે છે. જ્યારે યુરિક ઍસિડ ઓછો ઝેરી છે, જેના નિકાલમાં અલ્પ પાણીનો વ્યય થાય છે.

એમોનિયાના ઉત્સર્જનની (નિકાલની) પ્રક્રિયાને એમિનોટેલિસમ કહે છે. ઘણી અસ્થિ મત્સ્યો, જલીય ઉભયજીવીઓ અને જલીય કીટકો **એમિનોટેલિક** પ્રકૃતિના છે. એમોનિયા, સરળતાથી દ્રાવ્ય થવાને કારણે એમોનિયમ આયન તરીકે શરીરની સપાટી અથવા ઝાલરની સપાટી(મત્સ્યોમાં)થી પ્રસરણ દ્વારા ઉત્સર્જિત થાય છે. મૂત્રપિંડો તેના નિકાલમાં કોઈ મહત્ત્વની ભૂમિકા ભજવતા નથી. સ્થલીય અનુકૂલન હેતુ પાણીના સંરક્ષણ (જાળવણી) માટે ઓછા ઝેરી નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો જેવા કે યુરિયા અને યૂરિક ઍસિડનું ઉત્પાદન જરૂરી છે. સસ્તનો, ઘણા સ્થલીય ઉભયજીવીઓ અને દરિયાઈ મત્સ્યો મુખ્યત્વે યુરિયાનું ઉત્સર્જન કરે છે જેથી તેમને **યુરિયોટેલિક** પ્રાણીઓ કહે છે. આ પ્રાણીઓમાં ચયાપચયિક ક્રિયાઓ દ્વારા ઉત્પાદિત એમોનિયાનું યકૃતમાં યુરિયામાં રૂપાંતરણ થાય છે. અને રુધિરમાં મુક્ત કરવામાં આવે છે. જેને મૂત્રપિંડો દ્વારા ગાળણ અને ઉત્સર્જન કરવામાં આવે છે. આ પ્રાણીઓના મૂત્રપિંડના કોષાંતરીય દ્રવ્ય(Matrix)માં જરૂરી આસૃતિ સાંદ્રતાને જાળવવા માટે યુરિયાની કેટલીક માત્રા જાળવી રાખે છે. સરિસૃપો, પક્ષીઓ, જમીનની ગોકળગાય અને કીટકો નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામો પદાર્થ યુરિક ઍસિડનું પાણીના ન્યૂનતમ વ્યય દ્વારા ગોળકો અથવા લુગદી સ્વરૂપે ઉત્સર્જન કરે છે જેથી તેમને **યુરિકોટેલિક** પ્રાણીઓ કહે છે.

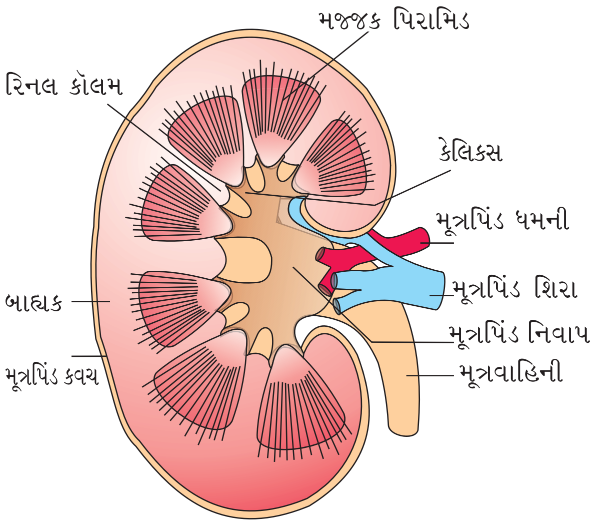
પ્રાણીસૃષ્ટિના સર્વેક્ષણમાં ઘણા બધા પ્રકારની ઉત્સર્ગીય રચનાઓ મળી આવે છે. મોટા ભાગના અપૃષ્ઠવંશીઓમાં આ રચનાઓ સરળ નલિકા સ્વરૂપે હોય છે. જ્યારે પૃષ્ઠવંશીઓમાં જટિલ નલિકામય અંગો જેને મૂત્રપિંડો કહે છે તે હોય છે. આમાંની કેટલીક રચનાઓનો અહીં ઉલ્લેખ કરેલ છે. આદિઉત્સર્ગિકા (Protonephridia) અથવા જ્યોતકોષો, પૃથુકૃમિઓ (ચપટાકૃમિ ઉદા., પ્લેનેરીયા), રોટીફર્સ, કેટલાક નુપુરકો અને શીર્ષ મેરુદંડીઓ-એમ્ફિઓક્સસની ઉત્સર્ગ રચના છે. આદિઉત્સર્ગિકાઓ પ્રાથમિક રીતે આયનીક અને પ્રવાહી કદ નિયમન એટલે કે જલનિયમન સાથે સંબંધિત છે. અળસિયાં અને અન્ય નુપૂરકોમાં નલિકામય ઉત્સર્ગ રચનાઓ, ઉત્સર્ગિકા જોવા મળે છે. ઉત્સર્ગિકા નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થોનો નિકાલ અને પ્રવાહી અને આયનીક સંતુલનની જાળવણીમાં મદદ કરે છે. વંદા સહિત મોટા ભાગના કીટકોમાં ઉત્સર્ગ રચના તરીકે માલ્પિધિયન નલિકાઓ આવેલ છે. માલ્પિધિયન નલિકાઓ નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થોના નિકાલ અને જલનિયમનમાં મદદ કરે છે. સ્તરકવચીઓ જેવા કે ઝીંગામાં એન્ટેનલ ગ્રંથિ (Antennal glands) અથવા હરિતગ્રંથિ (Green gland) ઉત્સર્જનનું કાર્ય કરે છે.

19.1 માનવ ઉત્સર્જનતંત્ર (Human Excretory System)

માનવમાં, ઉત્સર્જનતંત્ર એક જોડ મૂત્રપિંડો, એક જોડ મૂત્રનલિકાઓ, મૂત્રાશય અને મૂત્રમાર્ગ ધરાવે છે. (આકૃતિ 19.1). મૂત્રપિંડો લાલાશ પડતા કથ્થાઈ રંગની, વાલ (Bean) જેવા આકારની રચના છે. તે છેલ્લી ઉરસીય અને ત્રીજી કટિ કશેરૂકાના સમતલની વચ્ચે ઉદરીય ગુહાની પૃષ્ઠ બાજુએ અંદરની દીવાલની નજીક ગોઠવાયેલ હોય છે. પુખ્ત મનુષ્યનું દરેક મૂત્રપિંડ 10-12 સેમી લાંબુ, 5-7 સેમી પહોળુ, 2-3 સેમી જાડું અને સરેરાશ 120-170 ગ્રામ વજન ધરાવે છે. મૂત્રપિંડનાં કેન્દ્રીય ભાગ તરફની અંદરની અંતર્ગોળ સપાટીમાં ખાંચ હોય છે. જેને નાભી (Hilum) કહે છે. જેના દ્વારા મૂત્રવાહિની, રુધિરવાહિનીઓ અને ચેતાઓ દાખલ થાય છે. નાભિની અંદરના પહોળા ગળણી આકારના અવકાશને મૂત્રપિંડ નિવાપ (Renal pelvis) કહે છે, જેને પ્રવર્ધો સાથે કેલાયસીસ (Calyces) કહે છે. મૂત્રપિંડનું બાહ્યસ્તર સખત પુટકીય છે. મૂત્રપિંડની અંદર બે ભાગ હોય છે, બહાર બાહ્યક (Cortex) અને અંદર, મજ્જક (Medulla). મજ્જક થોડા શંકુ સમૂહો(મજ્જક પિરામિડ)માં વિભાજિત હોય છે જે કેલાયસીસમાં (એકવચન : કેલિક્સ) વિસ્તરેલ હોય છે. બાહ્યક, મજ્જક પિરામિડની વચ્ચે રિનલ



આકૃતિ 19.1 : માનવનું ઉત્સર્જનતંત્ર

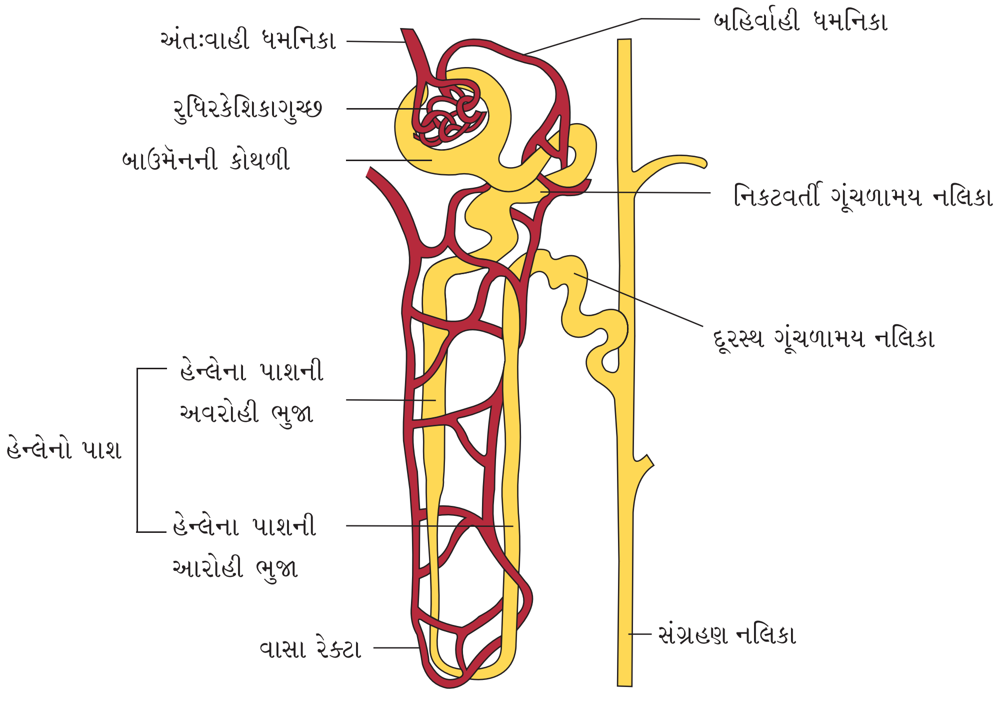


આકૃતિ 19.2 : મૂત્રપિંડનો ઊભોછેદ (રેખાકૃતિ)

કૉલમ (મૂત્રપિંડ સ્તંભ) તરીકે લંબાય છે. જેને **બર્ટિનીનાં સ્તંભો** (Columns of Bertini) કહે છે (આકૃતિ 19.2).

પ્રત્યેક મૂત્રપિંડ લગભગ 1 મિલિયન (10 લાખ) જટિલ નલિકાકાર રચનાઓ ધરાવે છે કે જેને **ઉત્સર્ગ એકમ** કહે છે (આકૃતિ 19.3). જે ક્રિયાત્મક એકમ છે. પ્રત્યેક ઉત્સર્ગ એકમને બે ભાગ છે. રુધિર- કેશિકાગુચ્છ અને મૂત્રપિંડ નલિકા. રુધિરકેશિકાગુચ્છ, મૂત્રપિંડ ધમનિની સૂક્ષ્મ શાખા અંતર્વાહી ધમનિકા(Afferent arteriole)થી બનેલ કેશિકાઓનું જાળું છે. રુધિરકેશિકાગુચ્છમાંનું રુધિર બર્હિવાહી ધમનિકાઓ દ્વારા લઈ જવાય છે.

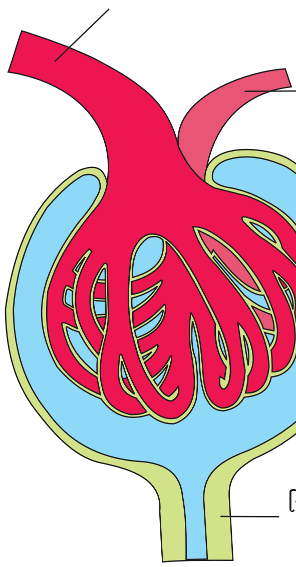
મૂત્રપિંડ નલિકાની શરૂઆત બેવડી દીવાલવાળી કપ જેવી રચનાથી થાય છે જેને **બાઉમૅનની કોથળી** (Bowmen's capsule) કહે છે. જે રુધિરકેશિકાગુચ્છને ઘેરે છે. રુધિરકેશિકાગુચ્છને, બાઉમૅનની કોથળી સાથે માલ્પિઘિયન કાય અથવા મૂત્રપિંડ કણ (Renal Corpuscles) (આકૃતિ 19.4) કહે છે. નલિકા સતત આગળ વધી અતિ ગૂંચળામય જાળુ - **નિકટવર્તી ગૂંચળામય નલિકા** (PCT) બનાવે છે. હેરપીન (Hairpin) આકારનો **હેન્લેનો પાશ** તેના પછીનો ભાગ છે. જે અવરોહી અને આરોહી ભુજા ધરાવે છે. આરોહી ભુજા



આકૃતિ 19.3 : રુધિરવાહિનીઓ, વાહિનીઓ અને નલિકાઓ દર્શાવતા ઉત્સર્ગ એકમની રેખાકૃતિ

આગળ એક અન્ય અતિ ગૂંચળામય નલિકામય પ્રદેશમાં પરિણમે છે. જેને **દૂરસ્થ ગૂંચળામય નલિકા (DCT)** કહે છે. ઘણા ઉત્સર્ગ એકમોની DCTs (દૂરસ્થ ગૂંચળામય નલિકાઓ) સીધી નલિકામાં ખૂલે છે જેને સંગ્રહણ નલિકા કહે છે. આમાંની ઘણી એક જગ્યાએ ભેગી મળી અને મૂત્રપિંડ નિવાપમાં કેલાયસીસના મજ્જક પિરામિડ દ્વારા ખૂલે છે.

ઉત્સર્ગ એકમના આ માલ્પીઘિયન કણ, PCT અને DCT મૂત્રપિંડના બાહ્યક પ્રદેશમાં સ્થાન પામેલ છે. જ્યારે હેન્લેનો પાશ મજ્જકમાં ખૂંપેલ હોય છે. મોટા ભાગના ઉત્સર્ગ એકમોમાં હેન્લેનો પાશ ખૂબ ટૂંકો અને મજ્જકમાં ખૂબ જ થોડે સુધી લંબાયેલ હોય છે. આવા ઉત્સર્ગ એકમોને બાહ્યક ઉત્સર્ગ એકમો (Cortical nephrons) કહે છે. કેટલાક ઉત્સર્ગ એકમોમાં હેન્લેનો પાશ ખૂબ લાંબો અને મજ્જકમાં ઊંડે સુધી પ્રસરેલ હોય છે. આ ઉત્સર્ગ એકમોને જક્સટા મજ્જક ઉત્સર્ગ એકમો (Juxta medullary nephrone) કહે છે.



આકૃતિ 19.4 : માલ્પિઘિયન કાય (મૂત્રપિંડ કણ)

રુધિરકેશિકાગુચ્છમાંથી નિકળતી બર્હિવાહી ધમનિકા, મૂત્રપિંડ નલિકાની ફરતે સૂક્ષ્મ કેશિકાઓનું જાળું બનાવે છે. જેને પરિનલિકા (Peritubular) કેશિકાઓ કહે છે. આ જાળમાંથી નીકળતી સૂક્ષ્મ વાહિકા હેન્લેના પાશને સમાંતર પસાર થઈ 'U' આકારનો વાસા રેક્ટા બનાવે છે. વાસા રેક્ટા બાહ્યક ઉત્સર્ગ એકમોમાં ગેરહાજર અથવા ખૂબ અલ્પવિકસિત (Reduced) હોય છે.

19.2 મૂત્રનિર્માણ (Urine Formation)

મૂત્રનિર્માણમાં ત્રણ પ્રક્રિયાઓ સમાવિષ્ટ છે જેવી કે રુધિરકેશિકાગુચ્છ ગાળણ, પુનઃ શોષણ અને સ્રાવ, જે ઉત્સર્ગ એકમના વિવિધ ભાગોમાં થાય છે.

મૂત્રનિર્માણના પ્રથમ તબક્કામાં રુધિરકેશિકાગુચ્છ દ્વારા રુધિરનું ગાળણ થાય છે. જેને **રુધિરકેશિકાગુચ્છ ગાળણ** કહે છે. મૂત્રપિંડો દ્વારા પ્રતિ મિનિટ સરેરાશ 1100-1200 મિલિ રુધિરનું ગાળણ થાય છે. જે હૃદયના દરેક ક્ષેપક દ્વારા એક મિનિટમાં ધકેલવામાં (પંપ કરવામાં) આવતા રુધિરના 1/5માં ભાગની બરાબર હોય છે. રુધિરકેશિકાગુચ્છની કેશિકાઓનું રુધિર-દબાણ રુધિરનું 3 સ્તરોમાં ગાળણ કરે છે. એટલે કે રુધિર કેશિકાગુચ્છની રુધિરવાહિનીના અંતઃસ્તર, બાઉમૅનની કોથળીનું અધિસ્તર અને આ બંને સ્તરોની વચ્ચેની આધાર કલા. બાઉમૅનની કોથળીના અધિચ્છદીય કોષોને પોડોસાઇટ્સ કહે છે. જે જટિલ રીતે ગોઠવાયેલ હોય છે. જેથી કેટલાક નાના (સૂક્ષ્મ) અવકાશો છોડે છે. જેને ગાળણ ખાંચ અથવા ખાંચ છિદ્રો કહે છે. રુધિર આમાંથી એટલી સૂક્ષ્મ રીતે ગળાય છે કે રુધિરરસના પ્રોટીનો સિવાય લગભગ બધા જ ઘટકો બાઉમૅનની કોથળીના અવકાશમાં દાખલ થાય છે. તેથી આ પ્રક્રિયાને **સૂક્ષ્મ ગાળણ** કહે છે.

મૂત્રપિંડો દ્વારા પ્રતિ મિનિટે નિર્માણ કરવામાં આવતા ગાળણના જથ્થાને **રુધિરકેશિકાગુચ્છ ગાળણ દર (Glomerular Filtration Rate) (GFR)** કહે છે. તંદુરસ્ત વ્યક્તિમાં GFR આશરે 125 મિલિ/મિનિટ એટલે કે

180 લિટર પ્રતિ દિવસ હોય છે.

મૂત્રપિંડ રુધિરકેશિકાગુચ્છ ગાળણ દરના નિયમન માટેની ક્રિયાવિધિ કરે છે. આવી જ એક કાર્યક્ષમ ક્રિયાવિધિ જક્સટા રુધિર કેશિકાગુચ્છ ઉપકરણ (JGA) દ્વારા થાય છે. JGA એ એક સંવેદનશીલ વિસ્તાર છે જે દૂરસ્થ ગૂંચળામય નલિકાના કોષીય રૂપાંતરણ અને અંતર્વાહી ધમનિકાના સંપર્ક સ્થળ દ્વારા નિર્માણ થાય છે. GFRમાં ઘટાડો JG કોષોને ક્રિયાશીલ કરે છે અને તે રેનીન મુક્ત કરે છે. જે રુધિરકેશિકાગુચ્છનાં રુધિર પ્રવાહને ઉત્તેજિત કરે છે અને આમ GFR પાછો સામાન્ય થાય છે.

પ્રતિ દિવસ નિર્માણ પામતા ગાળણના કદ(180 લિટર પ્રતિ દિવસ)ની ઉત્સર્જિત મૂત્ર (1.5 લિટર) સાથે તુલના કરવામાં આવે તો એમ સમજી શકાય છે કે 99 ટકા ગાળણ મૂત્રપિંડ નલિકા દ્વારા પુનઃ શોષણ પામે છે. આ પ્રક્રિયાને **પુનઃ શોષણ** કહે છે. આ પ્રક્રિયા ઉત્સર્ગ એકમના વિવિધ ખંડોમાં આવેલ નલિકામય અધિચ્છદીય કોષો દ્વારા સક્રિય કાં તો નિષ્ક્રિય ક્રિયાવિધિથી થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે ગાળણમાંના ગ્લુકોઝ, એમિનો ઍસિડ, Na^+ વગેરે પદાર્થો સક્રિય રીતે પુનઃ શોષણ પામે છે. જ્યારે નાઇટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો નિષ્ક્રિય વહન દ્વારા પુનઃ શોષણ પામે છે. પાણીનું પુનઃ શોષણ પણ નિષ્ક્રિય રીતે ઉત્સર્ગ એકમના શરૂઆતના ખંડોમાં થાય છે (આકૃતિ 19.5).

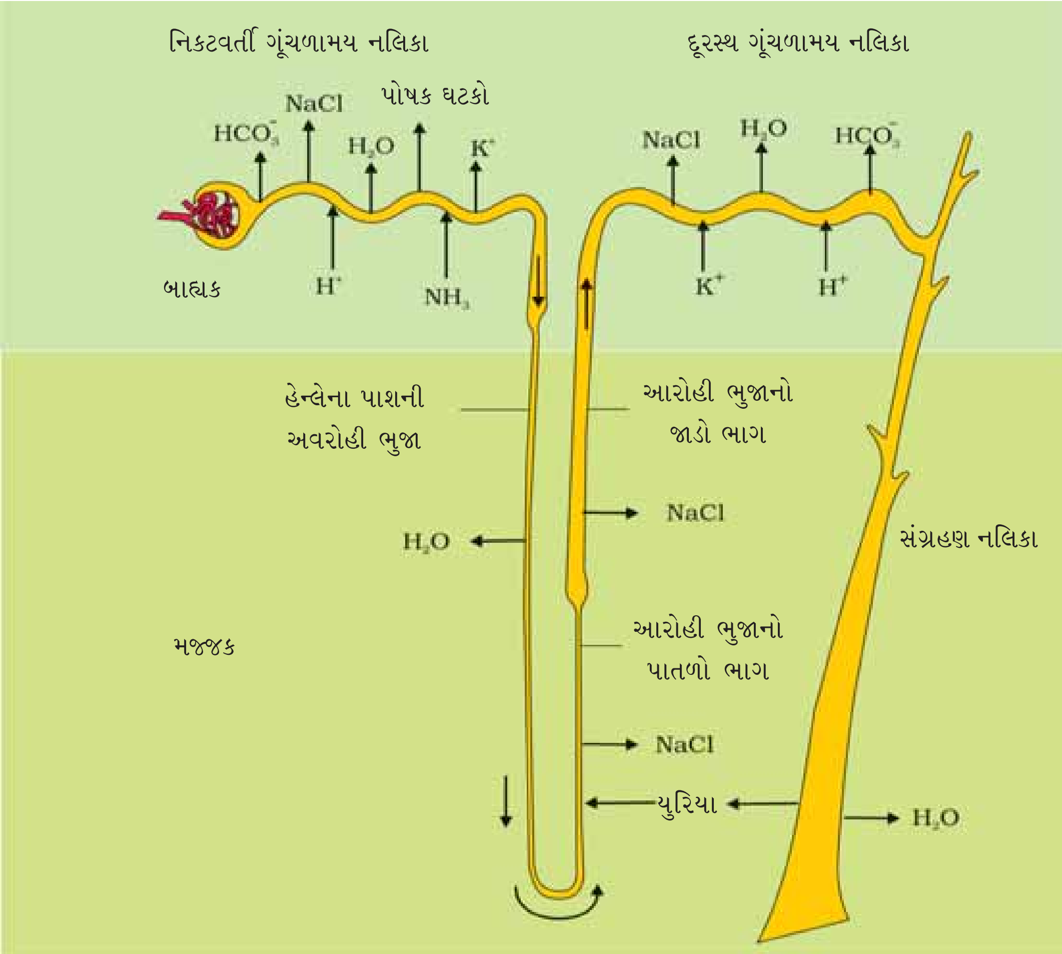
મૂત્રનિર્માણ દરમિયાન નલિકા કોષો ગાળણમાં પદાર્થો જેવા કે H^+, K^+ અને એમોનિયાને સ્રવિત કરે છે. નલિકા સ્રાવ પણ મૂત્રનિર્માણનો એક મહત્ત્વનો તબક્કો છે. કારણ કે તે દેહ જળમાં આયનો અને ઍસિડ-બેઇઝ સંતુલન જાળવવામાં મદદ કરે છે.

19.3 નલિકાઓનાં કાર્યો (Function of the Tubules)

નિકટવર્તી ગૂંચળામય નલિકા (PCT) : PCT પ્રવર્ધમય સપાટી (બ્રશ બોર્ડર) ધરાવતા ઘનાકાર અધિચ્છદની બનેલ છે, જે પુનઃ શોષણ માટે સપાટી વિસ્તારમાં વધારો કરે છે. લગભગ બધા જ આવશ્યક પોષક તત્ત્વો અને 70-80 ટકા ઈલેક્ટ્રોલાઇટ્સ અને પાણીનું પુનઃ શોષણ આ ખંડ દ્વારા થાય છે. PCT દેહ જળનું હાઇડ્રોજન આયન, એમોનિયા અને પોટાશિયમ આયનોના ગાળણમાં પસંદગીમાન સ્રાવ અને HCO_3^- ના શોષણ દ્વારા pH અને આયનિક સંતુલન જાળવવામાં પણ મદદ કરે છે.

હેન્લેનો પાશ : આ ખંડમાં પુનઃ શોષણ ન્યૂનતમ થાય છે. આ ભાગ મજ્જકનાં આંતરાલીય પ્રવાહીની ઊંચી આસૃતિ સંદ્રતાના નિયમનમાં મહત્ત્વપૂર્ણ ભૂમિકા ભજવે છે. હેન્લેના પાશની અવરોહી ભુજા પાણી માટે પ્રવેશશીલ હોય છે પરંતુ ઈલેક્ટ્રોલાઇટ્સ માટે લગભગ અપ્રવેશશીલ હોય છે. આ નીચેની તરફ જતા ગાળણને સાંદ્ર બનાવે છે. આરોહી ભુજા પાણી માટે અપ્રવેશશીલ હોય છે. પરંતુ ઈલેક્ટ્રોલાઇટ્સનું વહન સક્રિય અથવા નિષ્ક્રિય રીતે કરે છે. જેમ જેમ સાંદ્ર ગાળણ ઉપરની તરફ જાય છે, તેમ તેમ ઈલેક્ટ્રોલાઇટ્સનું મજ્જક પ્રવાહી(જલ)માં જવાથી ગાળણ મંદ (Dilute) થતું જાય છે.

દૂરસ્થ ગૂંચળામય નલિકા (DCT) : Na^+ અને પાણીનું શરતી પુનઃ શોષણ આ ખંડમાં થાય છે. રુધિરનાં pH અને સોડિયમ-પોટૅશિયમ સંતુલન જાળવવા માટે DCT, HCO_3^- નાં પુનઃ શોષણ, હાઇડ્રોજન, પોટૅશિયમ આયન અને એમોનિયા (NH_3)ના પસંદગીમાન સ્રાવ માટે સક્ષમ છે.



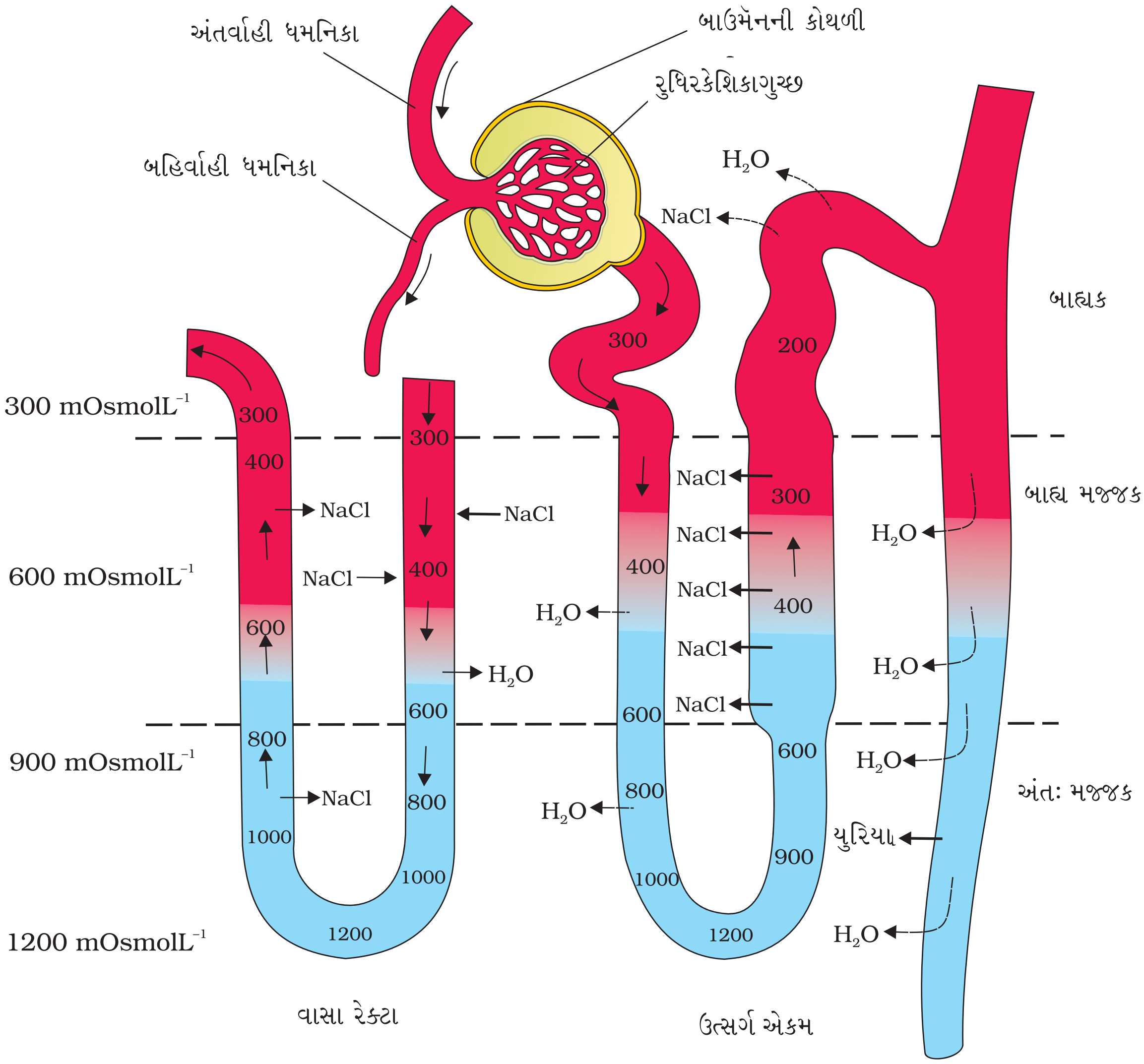
આકૃતિ 19.5 : ઉત્સર્ગ એકમના વિવિધ ભાગોમાં મુખ્ય પદાર્થોનું પુનઃ શોષણ અને સ્રાવ(ઍરો (તીર) દ્રવ્યો(પદાર્થો)ની ગતિની દિશા સૂચવે છે.)

સંગ્રહણ નલિકા : આ લાંબી નલિકા મૂત્રપિંડના બાહ્યકથી મજ્જકના અંદરના ભાગો સુધી લંબાયેલ છે. આ ભાગમાં સાંદ્ર મૂત્ર ઉત્પાદન માટે મોટા જથ્થામાં પાણીનું પુનઃ શોષણ થાય છે. આ ખંડ આસૃતિ સાંદ્રતાને જાળવી રાખવા માટે યુરિયાના ઓછા જથ્થાને મજ્જક આંતરકોષીય ભાગમાં લઈ જાય છે. તે H^+ અને K^+ આયનોના પસંદગીમાન સ્રાવ દ્વારા રુધિરના pH અને આયનિક સંતુલન જાળવવામાં પણ ભૂમિકા ભજવે છે.

19.4 ગાળણની સાંદ્રતાની ક્રિયાવિધિ (Mechanism of Concentration of The Filtrate)

સસ્તનોમાં સાંદ્ર મૂત્ર ઉત્પાદન કરવાની ક્ષમતા હોય છે. હેન્લેનો પાશ અને વાસા રેક્ટા તેમાં મહત્ત્વની ભૂમિકા ભજવે છે. હન્લેના પાશની બંને ભુજાઓમાં ગાળણનો વિરુદ્ધ દિશાઓમાં પ્રવાહ હોય છે અને તે કાઉન્ટર કરંટ નિર્માણ કરે છે. વાસા રેક્ટાની બંને ભુજાઓમાં રુધિરનો પ્રવાહ પણ કાઉન્ટર કરંટ પ્રમાણે હોય છે. હેન્લેનો પાશ અને વાસા રેક્ટાની વચ્ચેની નિકટતા તથા એનામાં કાઉન્ટર કરંટ, મજ્જક આંતરાલીય પ્રવાહીની

(Interstitium) વધતી આસૃતિ સાંદ્રતાને વિશિષ્ટ પ્રકારે જાળવવામાં મદદ કરે છે. એટલે કે બાહ્યકમાંના 300 mOsmo/L^{-1} થી મજ્જકના અંદરના આશરે 1200 mOsmo/L^{-1} સુધી. આ ઢોળાંશ થવાનું મુખ્ય કારણ NaCl અને યુરિયા છે. NaClનું પરિવહન હેન્લેના પાશની આરોહી ભુજા દ્વારા થાય છે જે વાસા રેક્ટાની અવરોહી ભુજા સાથે ફેરબદલી પામે છે. NaCl આંતરાલીય પ્રવાહીને વાસા રેક્ટાની આરોહી ભુજા દ્વારા પાછું આપવામાં આવે છે. એવી જ રીતે યુરિયાનો ઓછો જથ્થો હેન્લેના પાશના પાતળા આરોહી ભાગમાં દાખલ થાય છે. જે સંગ્રહણ નલિકા દ્વારા પાછો આંતરાલીય પ્રવાહીમાં પરિવહન પામે છે. ઉપરોક્ત વર્ણવેલ પદાર્થોના પરિવહન, હેન્લના પાશ અને વાસા રેક્ટાની વિશિષ્ટ વ્યવસ્થા દ્વારા સરળ બનાવાય છે. જેને **કાઉન્ટર કરંટ ક્રિયાવિધિ (Counter Current Mechanism)** કહે છે (આકૃતિ 19.6). આ ક્રિયાવિધિ મજ્જક



આકૃતિ 19.6 : ઉત્સર્ગ એકમ અને વાસા રેક્ટા દ્વારા નિર્મિત કાઉન્ટર કરંટ ક્રિયાવિધિ પ્રદર્શીત કરતી રેખાકૃતિ

આંતરાલીય પ્રવાહીમાં સાંદ્રતા ઢોળાંશને જાળવવામાં મદદ કરે છે. આવા આંતરાલીય પ્રવાહી ઢોળાંશની હાજરી સંગ્રહણ નલિકા દ્વારા પાણીના સરળ અવશોષણમાં મદદ કરે છે અને ગાળણને સાંદ્ર બનાવે છે (મૂત્ર). માનવ મૂત્રપિંડો શરૂઆતના ગાળણના સાપેક્ષમાં લગભગ ચારગણુ વધુ સાંદ્ર મૂત્ર ઉત્પન્ન કરે છે.

19. 5 મૂત્રપિંડનાં કાર્યનું નિયમન (Regulation of Kidney Function)

મૂત્રપિંડોની ક્રિયાવિધિનું નિયંત્રણ અને નિયમન હાઇપોથેલેમસ, JGA અને કેટલીક હદ સુધી હૃદયના અંતઃ સ્રાવોની પ્રતિપોષી ક્રિયાવિધિ દ્વારા થાય છે.

શરીરમાં અભિસરણ (આસૃતિ) ગ્રાહીઓ, રુધિર કદ, દેહ જળ કદ અને આયનિક સાંદ્રતામાં ફેરફાર દ્વારા સક્રિય થાય છે. શરીરમાંથી પાણીના વધારે પડતા વ્યયથી આ ગ્રાહીઓ સક્રિય થાય છે. જેથી હાયપોથેલેમસ એન્ટીડાયયુરેટીક અંતઃસ્રાવ (ADH) અથવા વાસોપ્રેસીન ન્યુરોહાઇપોફાયસીસમાંથી મુક્ત કરે છે. ADH નલિકાના અંતિમ ભાગમાં પાણીના પુનઃ શોષણની સુવિધા પૂરી પાડે છે. આ રીતે તે મૂત્રવૃદ્ધિને રોકે છે. દેહ જળના કદમાં વધારો આસૃતિ ગ્રાહીઓને નિષ્ક્રિય કરે છે અને પ્રતિપોષી નિયમનને પૂરું કરવા ADHની મુક્તિને અવરોધે છે. ADH મૂત્રપિંડનાં કાર્યો ઉપર તેની રુધિર વાહિનીઓના સંકોચનની અસર દ્વારા પણ અસર કરે છે. આ રુધિર દબાણના વધારાનું કારણ બને છે. રુધિર દબાણમાં વધારો રુધિરકેશિકાગુચ્છ પ્રવાહમાં વધારો કરે છે અને તેથી GFR પણ વધે છે.

JGA જટિલ નિયામકી ભૂમિકા ભજવે છે. રુધિરકેશિકાગુચ્છનો રુધિર પ્રવાહ/રુધિરકેશિકાગુચ્છનું રુધિર દબાણ / GFRમાં ઘટાડાથી JG કોષો સક્રિય થઈ **રેનિન**ને મુક્ત કરે છે. જે રુધિરમાંના એન્જિઓટેન્સીનોજનને એન્જિઓટેસીન-I અને ત્યારબાદ એન્જિઓટેસીન-IIમાં ફેરવે છે. એન્જિઓટેસીન-II એક પ્રભાવશાળી રુધિરવાહિની સંકોચક (Vasoconstrictor) હોવાથી, જે રુધિરકેશિકાગુચ્છ રુધિર દબાણ અને આમ GFRમાં વધારો કરે છે. એન્જિઓટેસીન-II, એડ્રીનલ બાહ્યકને આલ્ડોસ્ટેરોન મુક્ત કરવા પણ ઉત્તેજિત કરે છે. આલ્ડોસ્ટેરોનના કારણે નલિકાના દૂરસ્થ ભાગોમાં Na^+ અને પાણીનું પુનઃ શોષણ થાય છે. આ રુધિર દબાણ અને GFRમાં વધારા તરફ પણ દોરી જાય છે. આ જટિલ ક્રિયાવિધિ સામાન્ય રીતે **રેનિન-એન્જિઓટેસીન** ક્રિયાવિધિ તરીકે જાણીતી છે.

હૃદયના કર્ણકોમાં રુધિરના વધુ પ્રવાહથી **કર્ણક (એટ્રિઅલ) નેટ્રિયુરેટિક કારક (ANF)** મુક્ત થાય છે. ANF રુધિરવાહિની વિસ્તરણ (Vasodilation) (રુધિરવાહિનીઓનું વિસ્તરણ) પ્રેરે છે આમ રુધિર દબાણ ઘટે છે. તેથી ANF ક્રિયાવિધિ રેનિન-એન્જિઓટેસીન ક્રિયાવિધિ ઉપર નિયંત્રણનું કામ કરે છે.

19.6 મૂત્રનિકાલ (Micturition)

ઉત્સર્ગ એકમો દ્વારા નિર્મિત મૂત્ર અંતમાં મૂત્રાશયમાં લઈ જવાય છે જ્યાં તે મધ્યસ્થ ચેતાતંત્ર (CNS) દ્વારા ઐચ્છિક સંકેતો મળે ત્યાં સુધી સંગ્રહ પામે છે. આ સંકેતો મૂત્રાશયમાં મૂત્ર ભરાઈ જતાં તેની દીવાલ ખેંચવાને કારણે ઉત્પન્ન (પ્રેરાય) થાય છે. મૂત્રાશયની દીવાલ ઉપરના ખેંચાણ ગ્રાહીઓના પ્રત્યુત્તરથી સંકેતો CNSમાં મોકલાય છે. CNSથી મૂત્રાશયના સરળ સ્નાયુઓના સંકોચન અને

મૂત્રમાર્ગના મુદ્રિકા સ્નાયુ (Sphincter)ના શિથિલન હેતુ સમાંતર પ્રેરક (ચાલક) સંકેતો જાય છે જેને કારણે મૂત્ર મુક્ત થાય છે. મૂત્ર મુક્તિની આ ક્રિયાને મૂત્રનિકાલ કહે છે અને તેને અસર કરતી ચેતાકીય ક્રિયાવિધિને મૂત્રનિકાલ-પ્રતિક્રિયા (પરાવર્તિત ક્રિયા) (Micturition reflex) કહે છે. એક પુખ્ત મનુષ્ય પ્રતિદિવસ સરેરાશ 1-1.5 લિટર મૂત્ર ઉત્સર્જિત કરે છે. મૂત્ર એક આછા પીળા રંગનું, થોડુંક ઍસિડીક (pH - 6.0) અને વિશિષ્ટ વાસ ધરાવતું જલીય પ્રવાહી છે. સરેરાશ 25-30 ગ્રામ યુરિયા પ્રતિ દિવસ ઉત્સર્જિત થાય છે. વિવિધ પરિસ્થિતિઓ મૂત્રના ગુણધર્મો ઉપર અસર કરે છે. મૂત્રનું પૃથક્કરણ ઘણી ચયાપચયિક અનિયમિતતાઓ અને સાથે સાથે મૂત્રપિંડની ખામીઓના દાક્તરી નિદાનમાં મદદ કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે મૂત્રમાં ગ્લુકોઝ (ગ્લાયકોસૂરિયા) અને કીટોન કણો(કીટોન્યુરિયા)ની હાજરી ડાયાબિટીસ મેલીટસ સૂચવે છે.

19.7 ઉત્સર્જનમાં અન્ય અંગોનો ફાળો (Role of Other Organs in Excretion)

મૂત્રપિંડ સિવાય ફેફસાં, યકૃત અને ત્વચા પણ ઉત્સર્ગ પદાર્થો(કચરા)ના નિકાલમાં મદદ કરે છે.

આપણા ફેફસાં પ્રતિ દિવસ મોટી માત્રામાં CO_2 (18 લિટર/દિવસ) અને પાણીની પર્યાપ્ત માત્રાનો નિકાલ કરે છે. યકૃત આપણા શરીરની મોટામાં મોટી ગ્રંથિ છે. જે બિલિરૂબિન, બિલિવર્ડીન, કોલેસ્ટેરોલ, વિઘટિત સ્ટીરોઈડ અંતઃસ્રાવો, વિટામિન્સ અને ઔષધો ધરાવતા પિત્તરસનો સ્રાવ કરે છે. મોટા ભાગના આ પદાર્થો પાચક નકામા પદાર્થો (મળ) સાથે બહાર નિકાલ પામે છે.

ત્વચાની પ્રસ્વેદ (Sweat) અને સ્નિગ્ધ (Sebaceous) ગ્રંથિઓ સ્રાવ દ્વારા કેટલાક પદાર્થોનો નિકાલ કરે છે. પરસેવો, પ્રસ્વેદ ગ્રંથિઓ દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે. જે NaCl, ઓછી માત્રામાં યુરિયા, લેકટિક ઍસિડ વગેરે ધરાવતું જલીય પ્રવાહી છે. જો કે પરસેવાનું મુખ્ય (પ્રાથમિક) કાર્ય શરીરની સપાટીને ઠંડી રાખવાનું છે. તે ઉપર દર્શાવેલા કેટલાક નકામા પદાર્થોને દૂર કરવામાં પણ મદદ કરે છે. સ્નિગ્ધ ગ્રંથિઓ સીબમ (Sebum) દ્વારા સ્ટેરોલ, હાઈડ્રોકાર્બન્સ અને મીણ જેવા કેટલાક પદાર્થોનો નિકાલ કરે છે. આ સ્રાવ ત્વચાને રક્ષણાત્મક તૈલી કવચ પ્રદાન કરે છે. શું આપ જાણો છો કે નાઈટ્રોજનયુક્ત કચરાનો ખૂબ ઓછો જથ્થો લાળ દ્વારા પણ નિકાલ પામે છે ?

19.8 ઉત્સર્જનતંત્રની અનિયમિતતાઓ (Disorders of the Excretory System)

મૂત્રપિંડની ખામીને કારણે રુધિરમાં યુરિયાનો ભરાવો થાય છે. આ સ્થિતિને **યુરેમિયા (Uremia)** કહે છે, જે ઘણી નુકશાનકારક અને તે મૂત્રપિંડને નિષ્ફળતા તરફ દોરી જાય છે. આવા દર્દીઓમાં **હીમોડાયલિસિસ (Heamodialysis)** કહેવાતી પ્રક્રિયા દ્વારા યુરિયા દૂર કરવામાં આવે છે. હીમોડાયલિસિસ પ્રક્રિયા દરમિયાન, અનુકૂળ હોય તેવી ધમનીમાંના રુધિરને ડાયાલાઈઝિંગ એકમમાં દાખલ કરવામાં આવે છે. જેને કૃત્રિમ મૂત્રપિંડ કહે છે. દર્દીની ધમનીમાંથી રુધિરને કાઢી ડાયાલાયઝિંગ એકમમાં હીપેરીન જેવા પ્રતિગંઠક (Anticoagulant) ઉમેર્યા બાદ દાખલ કરવામાં આવે છે. આ એકમમાં નાઈટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો સિવાયના રુધિરરસ જેવું જ બંધારણ ધરાવતા પ્રવાહી(ડાયાલાઈઝિંગ)થી ઘેરાયેલ ગૂંચળામય સેલોફેન નલિકાઓ ધરાવે છે.

નલિકાનું છિદ્રિષ્ઠ સેલોફેન આવરણ (સ્તર) સાંદ્રતા ઢોળાંશને આધારે અણુઓનું વહન કરે છે. ડાયાલાઈઝિંગ પ્રવાહીમાં નાઈટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો ગેરહાજરીને કારણે, આ પદાર્થો મુક્ત રીતે બહાર આવે છે. આ રીતે તે રુધિરને શુદ્ધ (clearing) કરે છે. શુદ્ધ રુધિરમાં ઍન્ટિહીપેરીન ઉમેરી શિરા દ્વારા શરીરમાં પાછું ધકેલવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ વિશ્વના હજારો યુરેમિક દર્દીઓ માટે આર્શીવાદ રૂપ છે.

મૂત્રપિંડની નિષ્ફળતા(Kidney failure / Acute renal failures)ને દૂર કરવાનો અંતિમ ઉપાય મૂત્રપિંડ પ્રત્યારોપણ (Transplantation) છે. પ્રત્યારોપણમાં મુખ્યત્વે નજીકના સંબંધિત દાતાના ક્રિયાશીલ મૂત્રપિંડનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. જેથી યજમાનના પ્રતિરક્ષા તંત્રના અસ્વીકારને ઓછો કરી શકાય. આધુનિક દાક્તરી પ્રક્રિયાઓ આવી જટિલ તક્નિકની સફળતાના દરમાં વધારો કરે છે.

મૂત્રપિંડની પથરી (રીનલ કેલક્યુલી) (Renal calculi) : પથ્થર અથવા સ્ફટિકમય ક્ષારોનો (ઓક્સલેટ વગેરે) અદ્રાવ્ય સમૂહ (જથ્થો) મૂત્રપિંડમાં બને છે.

ગ્લોમેરુલોનેફ્રાઈટિસ (Glomerulonephritis) (રુધિરકેશિકાગુચ્છ સોજો) : તે મૂત્રપિંડના રુધિરકેશિકાગુચ્છનો સોજો છે.

સારાંશ

શરીરમાં ઘણા નાઈટ્રોજનયુક્ત પદાર્થો, આયનો, CO_2, પાણી વગેરેની જમાવટ થાય છે. જેનો નિકાલ થવો જરૂરી છે. નિર્માણ પામતા નાઈટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થની પ્રકૃતિ અને તેનું ઉત્સર્જન પ્રાણીઓમાં ભિન્ન હોય છે. જે મુખ્યત્વે નિવાસસ્થાન (પ્રાણીની પ્રાપ્યતા) આધારિત હોય છે. એમોનિયા, યુરિયા અને યૂરિક ઍસિડ ઉત્સર્જિત થતો મુખ્ય નાઈટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થો છે.

આદિઉત્સર્ગીકાઓ, ઉત્સર્ગીકાઓ, માલ્પિધિયન નલિકાઓ, હરિતગ્રંથિઓ અને મૂત્રપિંડો પ્રાણીઓના સામાન્ય ઉત્સર્ગ અંગો છે. તે ફક્ત નાઈટ્રોજનયુક્ત નકામા પદાર્થોનો નિકાલ જ નહીં પરંતુ આયનિક અને ઍસિડ-બેઈઝ સંતુલનની દેહ જળમાં જાળવણીમાં પણ મદદ કરે છે.

માનવમાં, ઉત્સર્જન તંત્ર એક જોડ મૂત્રપિંડો, એક જોડ મૂત્રનલિકાઓ, મૂત્રાશય અને મૂત્રમાર્ગ ધરાવે છે. દરેક મૂત્રપિંડ 1 મિલીયન નલિકામય રચનાઓ કે જેને ઉત્સર્ગ એકમ કહે છે તે ધરાવે છે. ઉત્સર્ગ એકમ મૂત્રપિંડનો ક્રિયાત્મક એકમ છે. પ્રત્યેક ઉત્સર્ગ એકમને બે ભાગ છે. રુધિરકેશિકાગુચ્છ અને મૂત્રપિંડ નલિકા. રુધિરકેશિકાગુચ્છ, મૂત્રપિંડ ધમનીની સૂક્ષ્મ શાખા અંતર્વાહી ધમનિકાથી બનેલ કેશિકાઓનું જાળું છે. મૂત્રપિંડ નલિકાની શરૂઆત બેવડી દીવાલવાળી બાઉમૅનની કોથળીથી થાય છે અને આગળ તે નિકટવર્તી ગૂંચળામય નલિકા (PCT), હેન્લેનો પાશ (HL) અને દૂરસ્થ ગૂંચળામય નલિકા(DCT)માં ભિન્ન પામે છે. ઘણા ઉત્સર્ગ એકમોની DCTs સામાન્ય સંગ્રહણ નલિકામાં ભેગી થાય છે, આમાની ઘણી અંતે મજ્જક પિરામિડ્સમાં થઈને મૂત્રપિંડ નિવાપમાં ખૂલે છે. બાઉમૅનની કોથળી માલ્પિધિયન અથવા મૂત્રપિંડ કણ બનાવવા રુધિરકેશિકાગુચ્છને ઘેરે છે.

મૂત્રનિર્માણમાં ત્રણ પ્રક્રિયાઓ સમાવિષ્ટ છે. એટલે કે ગાળણ, પુનઃ શોષણ અને સ્રાવ. ગાળણ એ પસંદગીમાન પ્રક્રિયા છે. જે રુધિરકેશિકાગુચ્છની કેશિકાઓના રુધિર દબાણના ઉપયોગથી રુધિરકેશિકાગુચ્છમાં થાય છે. પ્રતિ મિનિટ (GFR) બાઉમૅનની કોથળીમાં 125 મિલિ ગાળણ બનાવવા આશરે 1200 મિલિ રુધિર પ્રતિ

મિનિટ રુધિરકેશિકાગુચ્છ દ્વારા ગળાય છે. JGA ઉત્સર્ગ એકમનો એક વિશિષ્ટ ભાગ છે. જે GFRના નિયમનમાં મહત્ત્વનો ભાગ ભજવે છે. ઉત્સર્ગ એકમના વિવિધ ભાગો દ્વારા આશરે 99 % ગાળણ પુનઃ શોષણ પામે છે. PCT એ પુનઃ શોષણ અને પસંદગીમાન સ્રાવ માટેનું મુખ્ય સ્થાન છે. HL મૂત્રપિંડના આંતરાલીય પ્રવાહીમાં આસૃતિ ઢોળાંશ (300 mOsmo / L^{-1} – 1200 mOsmo / L^{-1}) જાળવવામાં પ્રાથમિક રીતે મદદ કરે છે. DCT અને સંગ્રહણ નલિકા પાણી અને ઈલેક્ટ્રોલાઈટ્સનું પુનઃશોષણ કરે છે, જે જલનિયમનમાં મદદ કરે છે. દેહ જળના આયનિક સંતુલન અને pH જાળવવા માટે H^+, K^+ અને NH_3 નો ગાળણમાં નલિકાઓ દ્વારા સ્રાવ થાય છે.

કાઉન્ટર કરંટ ક્રિયાવિધિ હેન્લેના પાશની બંને ભુજાઓ અને વાસા રેક્ટા (હેન્લેના પાશને સમાંતર કેશિકા)ની વચ્ચે કાર્ય કરે છે. ગાળણ જેમ-જેમ અવરોહી ભુજામાં નીચે ઉતરે છે તેમ-તેમ સાંદ્ર થતું જાય છે. પરંતુ આરોહી ભુજામાં તે મંદ થાય છે. ઈલેક્ટ્રોલાઈટ્સ અને યુરિયા આ વ્યવસ્થાને લીધે આંતરાલીય પ્રવાહીમાં જળવાય છે. DCT અને સંગ્રહણ નલિકા ગાળણને આશરે ચાર ગણુ વધુ સાંદ્ર કરે છે. એટલે કે 300 mOsmo / L^{-1} થી 1200 mOsmo / L^{-1}. આ પાણીના સંરક્ષણની ઉત્તમ ક્રિયાવિધિ છે. મૂત્રાશયમાં મૂત્ર CNS દ્વારા ઐચ્છિક સંકેતો પ્રાપ્ત થાય ત્યાં સુધી સંગ્રહ પામે છે. ત્યારબાદ તે મૂત્રમાર્ગ દ્વારા મુક્ત થાય છે, એટલે કે મૂત્રનિકાલ. ત્વચા, ફેફસાં અને યકૃત પણ ઉત્સર્જનમાં સહાય કરે છે.

સ્વાધ્યાય

1. રુધિરકેશિકાગુચ્છ ગાળણ (GFR) દરને વ્યાખ્યાયિત કરો.
2. GFRની સ્વયંવનિયંત્રિત ક્રિયાવિધિ સમજાવો.
3. નીચેનાં વિધાનો સાચાં છે કે ખોટાં તે દર્શાવો :
   (a) મૂત્રનિકાલ પ્રતિક્રિયા (પરાવર્તિત ક્રિયા) દ્વારા થાય છે.
   (b) ADH, મૂત્રને અધઃ સાંદ્ર (Hypotonic) બનાવી પાણીના નિકાલમાં મદદ કરે છે.
   (c) બાઉમૅનની કોથળીમાં રુધિરરસમાંનું પ્રોટીન-મુક્ત પ્રવાહી ગળાય છે.
   (d) મૂત્રની સાંદ્રતા વધારવામાં હેન્લેનો પાશ અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.
   (e) નિકટવર્તી ગૂંચળામય નલિકા(PCT)માં ગ્લુકોઝ સક્રિય રીતે પુનઃ શોષણ પામે છે.
4. કાઉન્ટર કરંટ ક્રિયાવિધિનું સંક્ષિપ્તમાં વર્ણન કરો.
5. ઉત્સર્જનમાં યકૃત, ફેફસાં અને ત્વચાનો ફાળો વર્ણવો.
6. સમજાવો : મૂત્રનિકાલ.
7. કૉલમ-I અને કૉલમ-IIની સાથે જોડો :

કૉલમ-I	કૉલમ-II
(a) એમોનોટેલીઝમ	(i) પક્ષીઓ
(b) બાઉમૅનની કોથળી	(ii) પાણીનું પુનઃ શોષણ
(c) મૂત્રનિકાલ	(iii) અસ્થિમત્સ્ય
(d) યુરિકોટેલીસમ	(iv) મૂત્રાશય
(e) ADH	(v) મૂત્રપિંડ નલિકા

8. જલનિયમન શબ્દનું અર્થઘટન શું થાય છે ?
9. સ્થલીય પ્રાણીઓ મોટે ભાગે યુરિયોટેલિક અથવા યુરિકોટેલિક હોય છે, એમોનોટેલિક હોતા નથી ? શા માટે ?
10. મૂત્રપિંડનાં કાર્યોમાં જકસટા રુધિરકેશિકાગુચ્છ ઉપકરણ(JGA)નું મહત્ત્વ શું છે ?
11. નીચેનાનાં નામ આપો :
    (a) અમેરુદંડી પ્રાણીઓ કે જેમાં ઉત્સર્ગ રચના તરીકે જ્યોતકોષો ધરાવે છે.
    (b) માનવ મૂત્રપિંડમાં બાહ્યકના ભાગો કે જે મજ્જક પિરામિડની વચ્ચે વિસ્તરેલ છે.
    (c) હેન્લેના પાશને સમાંતર પસાર થતી રુધિરકેશિકાનો પાશ.
12. ખાલી જગ્યા પૂરો :
    (a) હેન્લેના પાશની આરોહી ભુજા પાણી માટે _______ જ્યારે અવરોહી ભુજા તેના માટે _______ છે.
    (b) મૂત્રપિંડ નલિકાના દૂરસ્થ ભાગ દ્વારા પાણીનું પુનઃ શોષણ _______ અંતઃસ્રાવ દ્વારા થાય છે.
    (c) ડાયાલીસીસ પ્રવાહીમાં _______ પદાર્થ સિવાય રુધિરરસના અન્ય બધા પદાર્થો હાજર હોય છે.
    (d) એક સ્વસ્થ મનુષ્ય (આશરે) _______ ગ્રામ યુરિયા / દિવસ ઉત્સર્જિત કરે છે.