

ESTUDIO DE LA FUNCION RENAL A PARTIR DE SECUENCIAS  
DINAMICAS DE IMAGENES GAMMAGRAFICAS

Tesis para aspirar al grado  
de doctor presentada por  
ANGEL GONZALEZ SISTAL

Laboratori de Biofisica i Bioenginyeria  
Departament de Ciències Fisiològiques  
Humanes i de la Nutrició  
Facultat de Medicina  
Universitat de Barcelona

Barcelona, 1990

4. APLICACION DEL ALGORITMO DE DECONVOLUCION INCLUYENDO  
FILTRADO OPTIMIZADO A ESTUDIOS REALES CON  $^{131}\text{I}$ -HIPPURAN

## 4.1. Obtención de los parámetros derivados de la función de retención renal

### 4.1.1. Introducción

Una vez obtenido y validado el método de deconvolución utilizando el algoritmo iterativo con filtrado lineal óptimo, se aplicó a un conjunto de renogramas con  $^{131}\text{I}$ -Hippuran, determinándose los parámetros de interés fisiológico y clínico derivados de la función de retención renal.

Los métodos de filtrado utilizados fueron el filtro de tres puntos y filtro de Butterworth. Aunque el filtro de Butterworth presenta valores del error mínimo y del error relativo menores, y según lo expuesto en el capítulo de simulación aparece como el mejor método, se aplicó también el filtro de tres puntos por ser el tipo de filtro más conocido y utilizado en Medicina Nuclear. Nos interesaba detectar si existían diferencias significativas entre los dos métodos de filtrado lineal en estudios reales.

Se valoraron los parámetros derivados de la FRR y posteriormente se analizaron las relaciones entre los parámetros derivados de la FRR y los obtenidos directamente del renograma.

En los estudios reales se observó que los renogramas considerados normales, una vez alcanzado el valor máximo de actividad, decaen más rápidamente que los renogramas simulados. Esto podría explicarse debido a que se produce una alta captación renal, cuando el bolo es compacto, que se refleja en la subida del renograma y después en la bajada al producirse el vaciado hacia la vejiga urinaria una vez transcurrido el tiempo de tránsito.

Asimismo, en cuatro pacientes se observó que el valor del primer punto de la curva de aclaramiento plasmático era inferior al del segundo punto. Este hecho es anómalo ya que durante este intervalo de tiempo se superponen fenómenos de dilución, captación tisular y aclaramiento. Así, el bolo de Hippuran es rápidamente eliminado en un tiempo aproximado de un minuto. Por esta razón, el hecho de que el valor de la actividad en el primer punto sea menor que el del segundo debe ser atribuido a una inyección defectuosa o a retardos en el inicio de la adquisición de la imagen.

Al efectuar la deconvolución aparecieron problemas de cálculo numérico que hicieron inviable la obtención de la FRR en estos casos. Estos problemas consistían en la presencia de oscilaciones en los valores de los puntos de la FRR que se amplificaban durante el proceso de cálculo. Se comprobó que la causa de estas oscilaciones era el valor del primer punto por lo que se hacía necesario efectuar un

remuestreo de los primeros puntos. En todos los casos, el simple aumento del valor del primer punto de la curva de aclaramiento plasmático solucionó el problema.

#### 4.1.2. Material y Métodos

El proceso seguido consistió en aplicar sobre las curvas de aclaramiento plasmático  $E(t)$  y sobre los renogramas  $S(t)$ , los métodos de deconvolución y filtrado para obtener las funciones de retención renales  $h(t)$ . Las curvas  $E(t)$  y  $S(t)$ , se obtuvieron delimitando las áreas de interés correspondientes a la zona vascular y a los dos riñones, y sumando la actividad dentro de estas áreas para cada tiempo. En la figura 4.1, se muestra un ejemplo de las curvas actividad/tiempo y de las correspondientes áreas de interés.

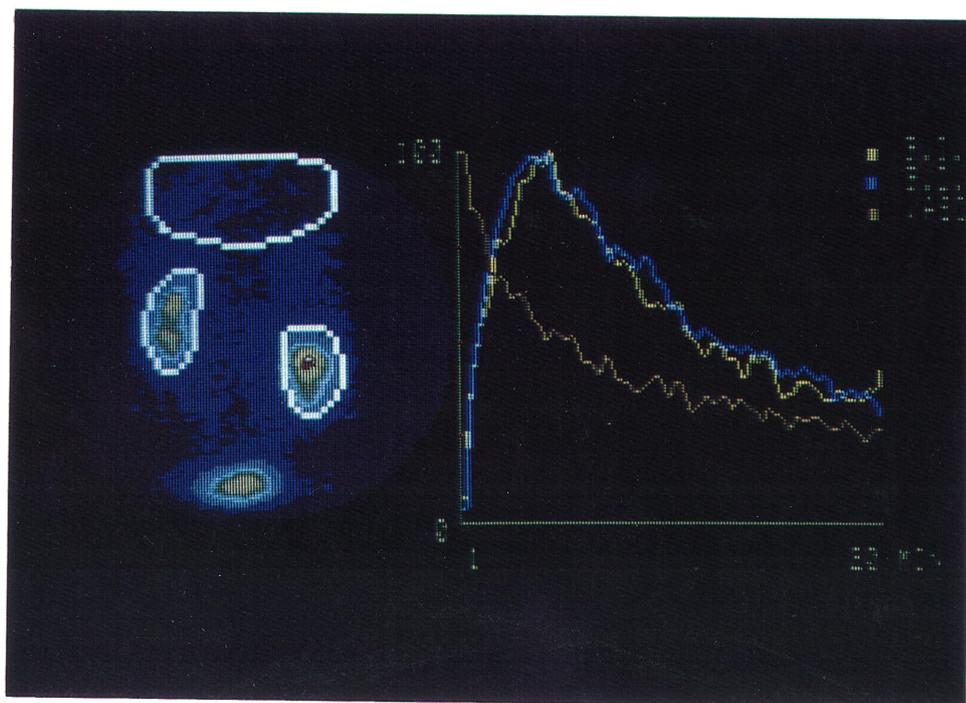


Figura 4.1. Areas de interés y curvas actividad/tiempo utilizadas.

Se estudiaron 35 curvas actividad/tiempo correspondientes a la región cardíaca que reflejan el aclaramiento plasmático y 70 renogramas correspondientes a 35 pacientes. El trazador utilizado fue  $^{131}\text{I}$ -Hippuran. El proceso de adquisición de las imágenes gammagráficas fue realizado en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico y Provincial de Barcelona mediante una gammacámara Picker dyna 4/15 con un colimador de media energía, conectada a un ordenador Digital PDP-11/34. El procesado fue realizado en el Laboratorio de Biofísica y Bioingeniería de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

utilizando un ordenador PC-AT de IBM. Este cambio de soporte precisó un proceso de adaptación entre ambos. El intervalo de tiempos de tránsito intrarrenal correspondiente a los 35 pacientes, incluyendo diferentes grados de obstrucción, es amplio. Se efectuó la corrección de la actividad extrarrenal del renograma delimitando un área de interés situada debajo de los dos riñones. En la figura 4.2 se muestra un ejemplo de curva de aclaramiento plasmático y un renograma de un mismo paciente.

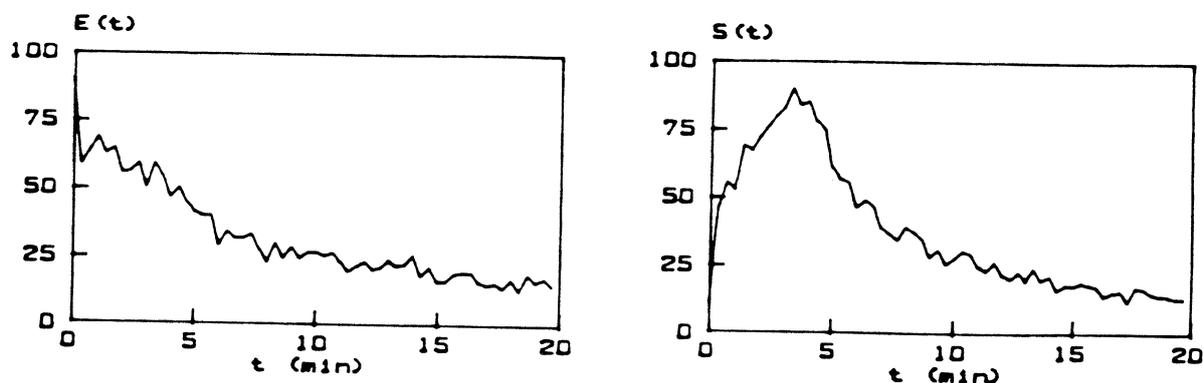


Figura 4.2. Curva de aclaramiento plasmático y renograma. Trazador:  $^{131}\text{I}$ -Hippuran.

El número de puntos utilizado para todas las pruebas fue de 64, con un intervalo de digitalización de 20 segundos.

El método de deconvolución utilizado fue el algoritmo matricial, por los motivos expuestos en el apartado de simulación.

Para el filtrado se utilizaron los dos filtros lineales citados anteriormente, de tres puntos y Butterworth, aplicados con los mismos criterios que en el apartado de simulación. En la figura 4.3, se presenta el proceso seguido en la determinación de la función de retención renal  $h(t)$ , donde el filtrado lineal se aplica después de efectuar la deconvolución.

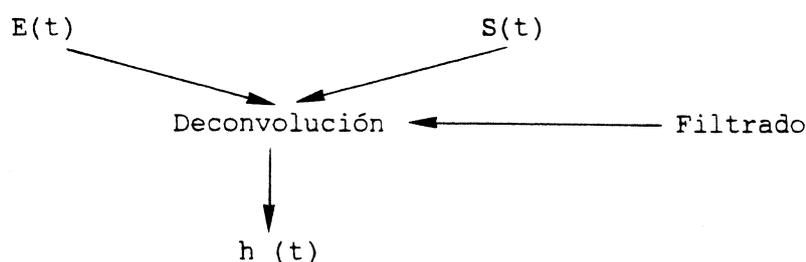


Figura 4.3. Esquema del proceso seguido para la obtención de la FRR.

En el caso del filtro de tres puntos se calculó para cada renograma el factor de suavizado, según la función obtenida en las pruebas de simulación. Así, como el trazador es  $^{131}\text{I}$ -Hippuran, la función que proporciona el factor de suavizado es

$$fs = 0.0219 (TT/20 + 4.06)^2$$

en donde  $TT$  representa el tiempo de tránsito y el factor 20

del denominador corresponde al intervalo de digitalización utilizado. Al ser el tiempo de tránsito desconocido, se realiza una estima como el tiempo al máximo de la curva de salida para determinar el número óptimo de suavizados para cada riñón.

Para el filtro Butterworth se aplicó la frecuencia de corte óptima hallada en las pruebas de simulación mediante la función

$$f_c = 139.5 \exp (-0.3907 (TT/20) ) + 4.4$$

siendo TT el tiempo de tránsito y 20 el intervalo de digitalización utilizado. Se realizó la estima del tiempo de tránsito como el tiempo en el máximo de actividad del renograma.

Debido al intervalo de digitalización considerado, los efectos de la actividad extrarrenal afectan de forma apreciable a los 2 primeros puntos de la FRR si no se ha producido la sustracción de la misma. En este caso, como el renograma está corregido, sólo existe la actividad vascular que afecta al primer punto de la FRR. Al efectuar el promedio del tercer y cuarto puntos aseguramos que no haya contribución vascular y extrarrenal.

Como ejemplo del formato que se utilizará en el

apartado siguiente de presentación de los resultados, en la figura 4.4 aparece la FRR obtenida a partir de las curvas de la figura 4.2., no aparece la contribución vascular ya que se ha efectuado un promedio de los valores de los puntos tercero y cuarto asignándose este valor a los dos primeros puntos de la FRR.

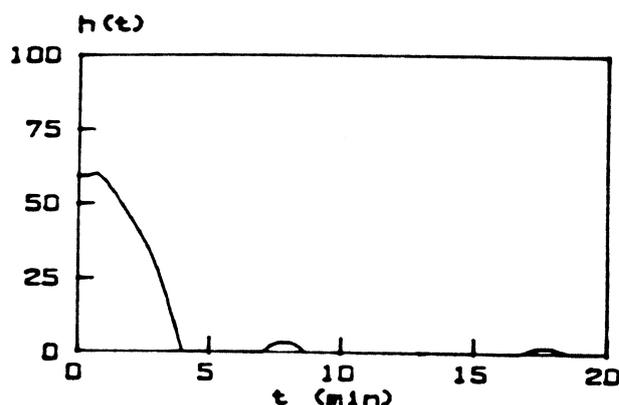


Figura 4.4. Función de retención renal obtenida a partir de las curvas de la figura 4.2, en la que no aparece la contribución debida a la actividad vascular.

#### 4.1.3. Resultados

##### 4.1.3.1. Obtención de las funciones de retención renal

En las figuras 4.5 a 4.39 aparecen las FRR de los 35 pacientes obtenidas mediante deconvolución, aplicando el algoritmo matricial utilizando ambos métodos de filtrado lineal. En cada una de ellas aparecen: la curva de

aclaramiento plasmático, la curva de salida del sistema correspondiente al primer riñón y las FRR calculadas mediante ambos filtros lineales optimizados; y el renograma del segundo riñón y las FRR calculadas con ambos métodos. El escalado del eje de abscisas corresponde a los valores utilizados en los estudios reales. El escalado del eje de ordenadas tiene valores normalizados a 100.

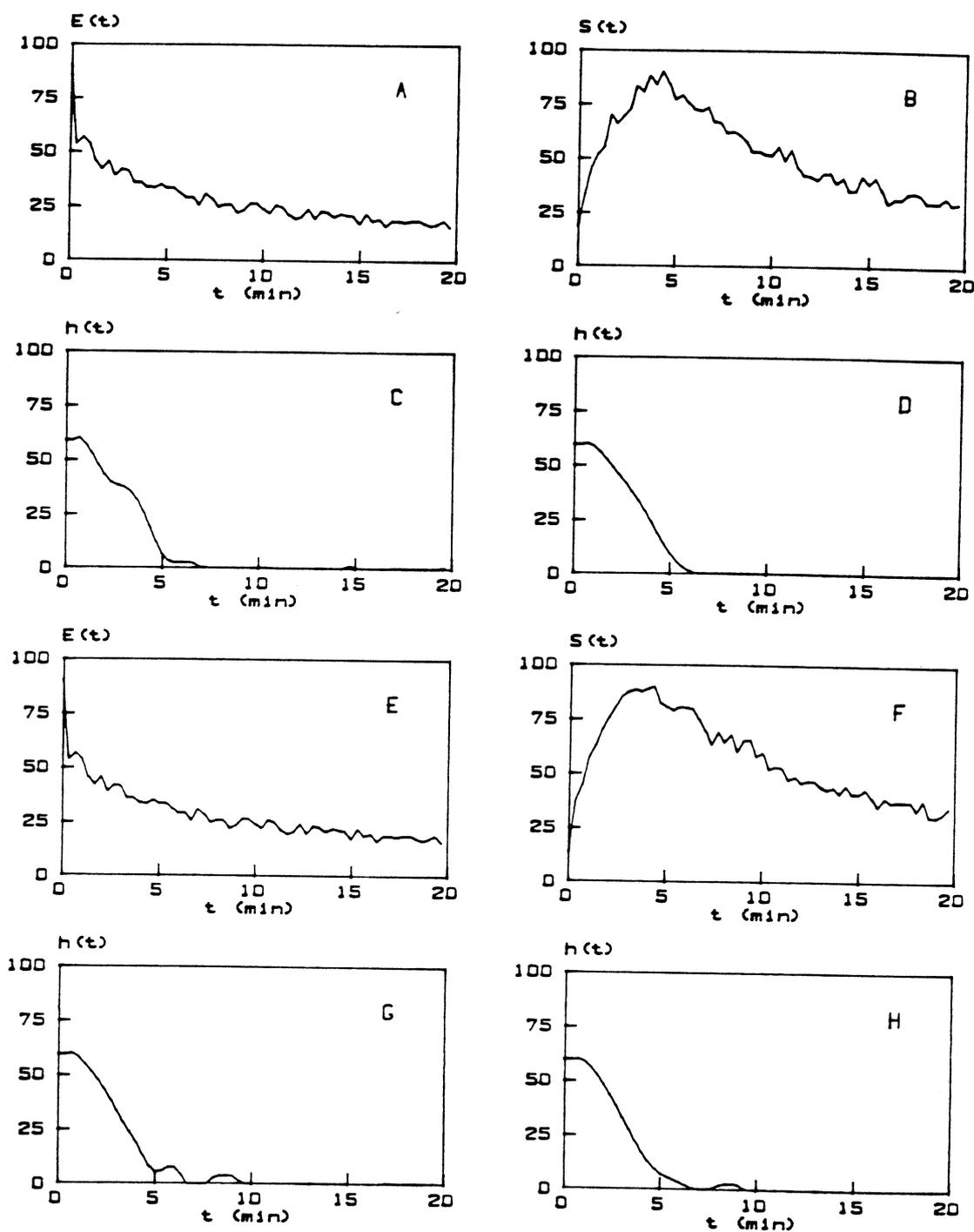


Figura 4.5 . Paciente 1.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

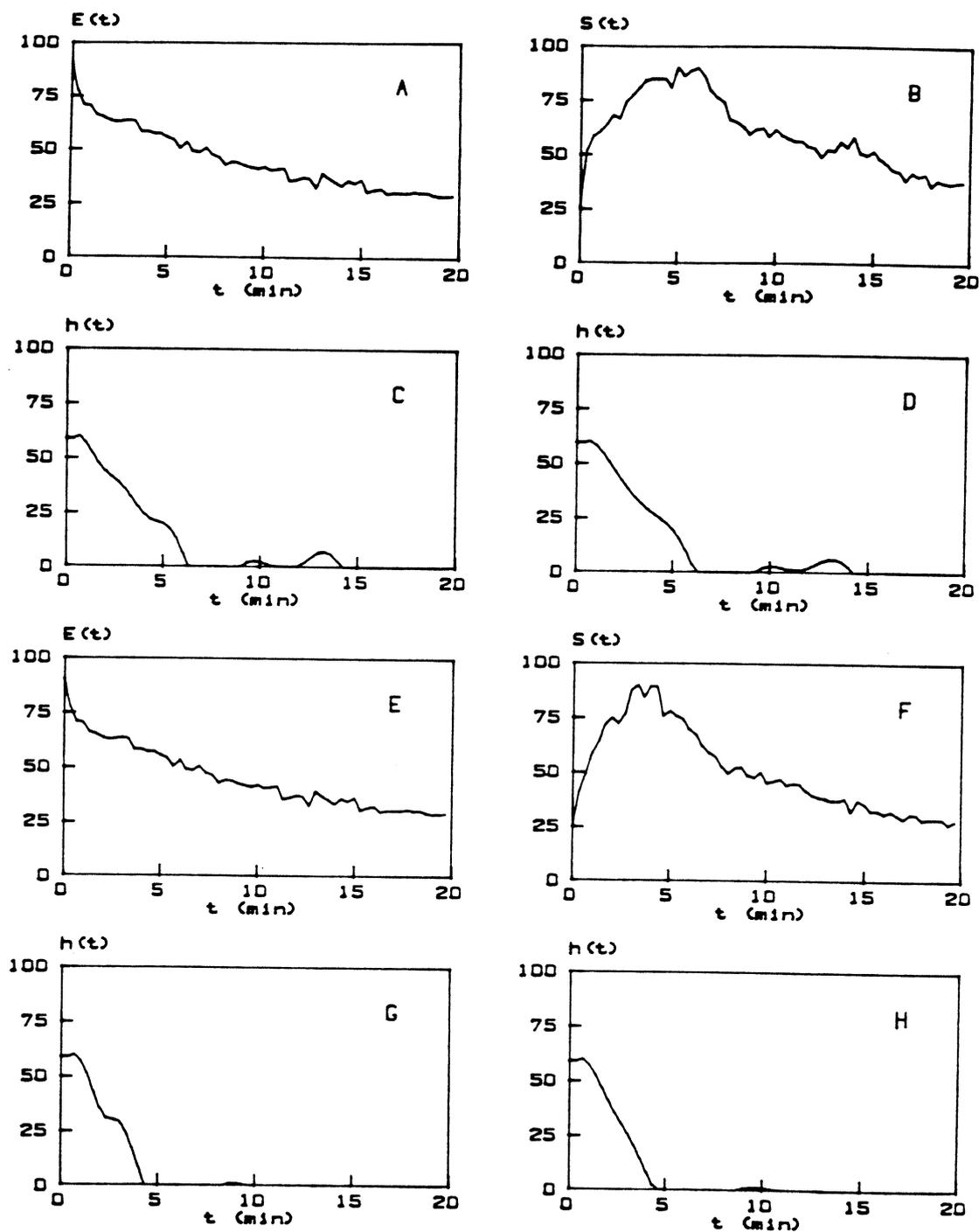


Figura 4.6. Paciente 2.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curvas de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

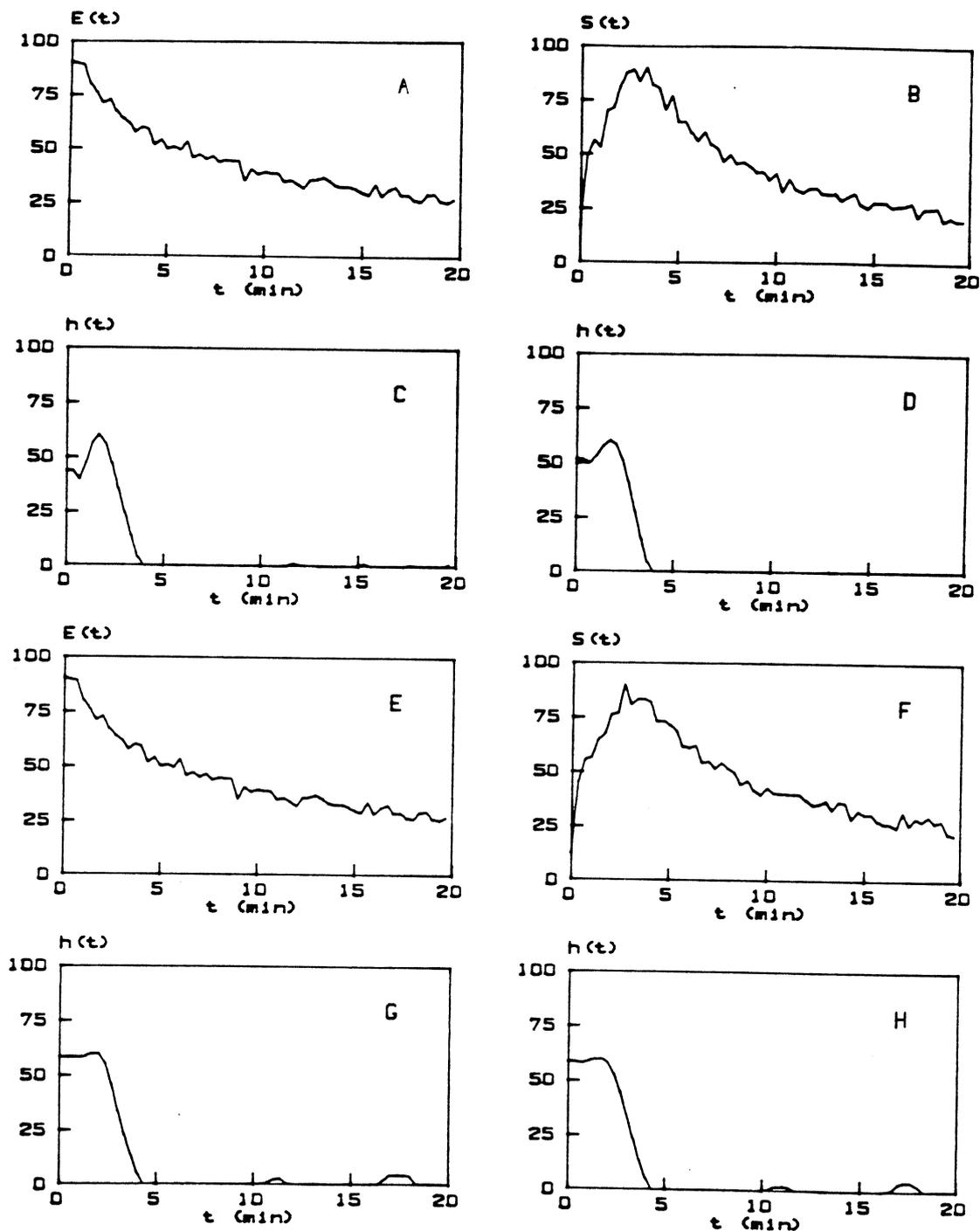


Figura 4.7. Paciente 3.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

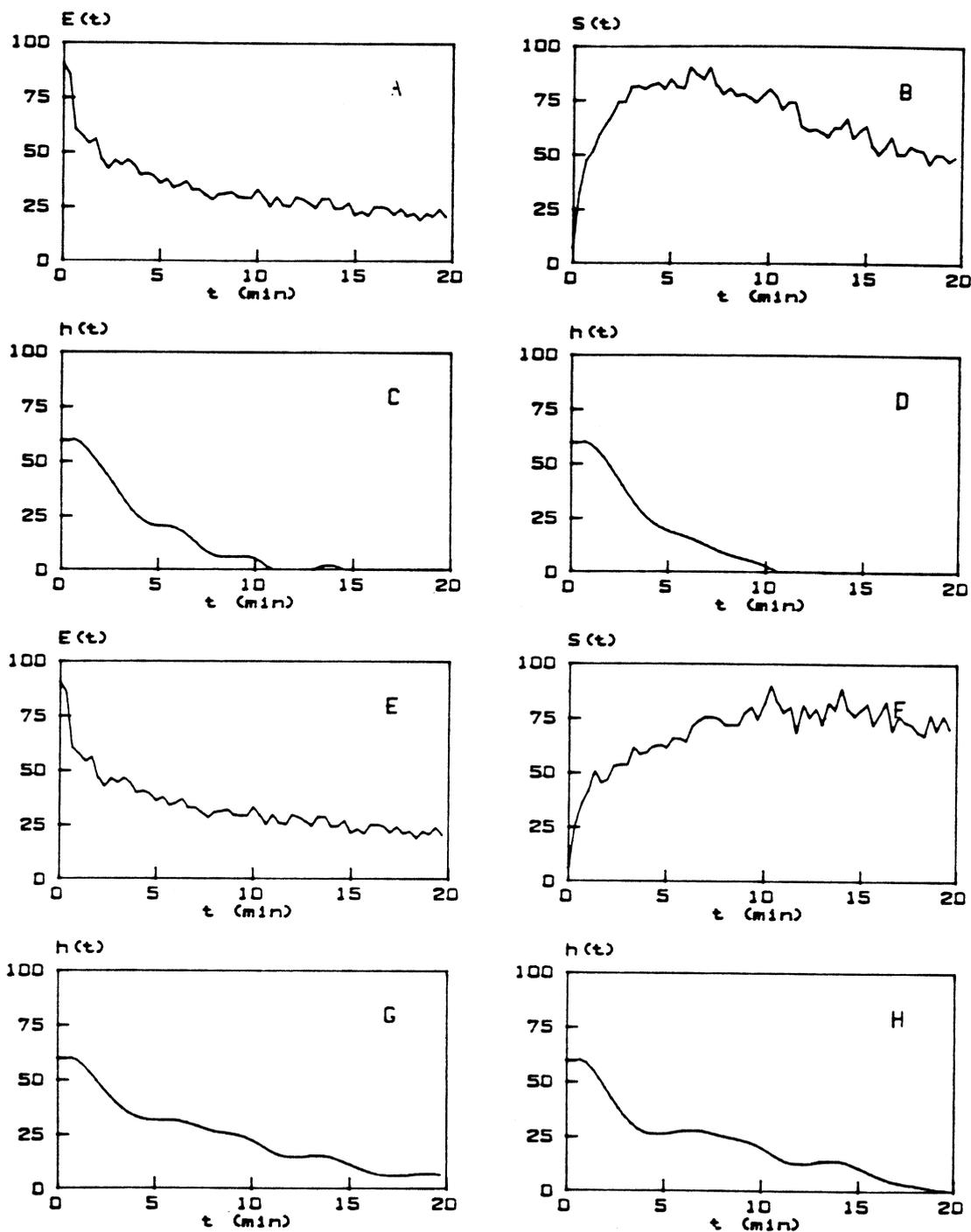


Figura 4.8. Paciente 4.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

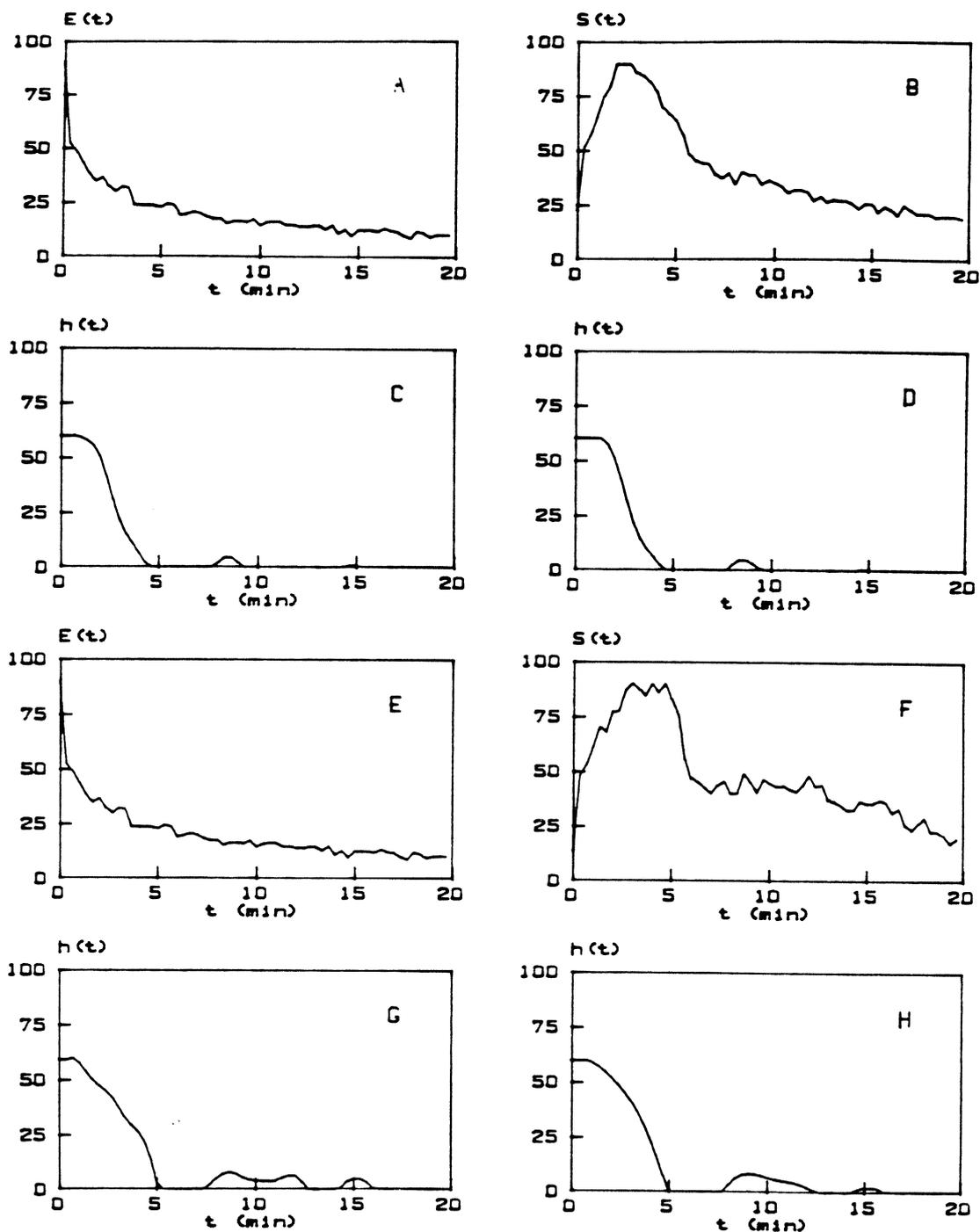


Figura 4.9. Paciente 5.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

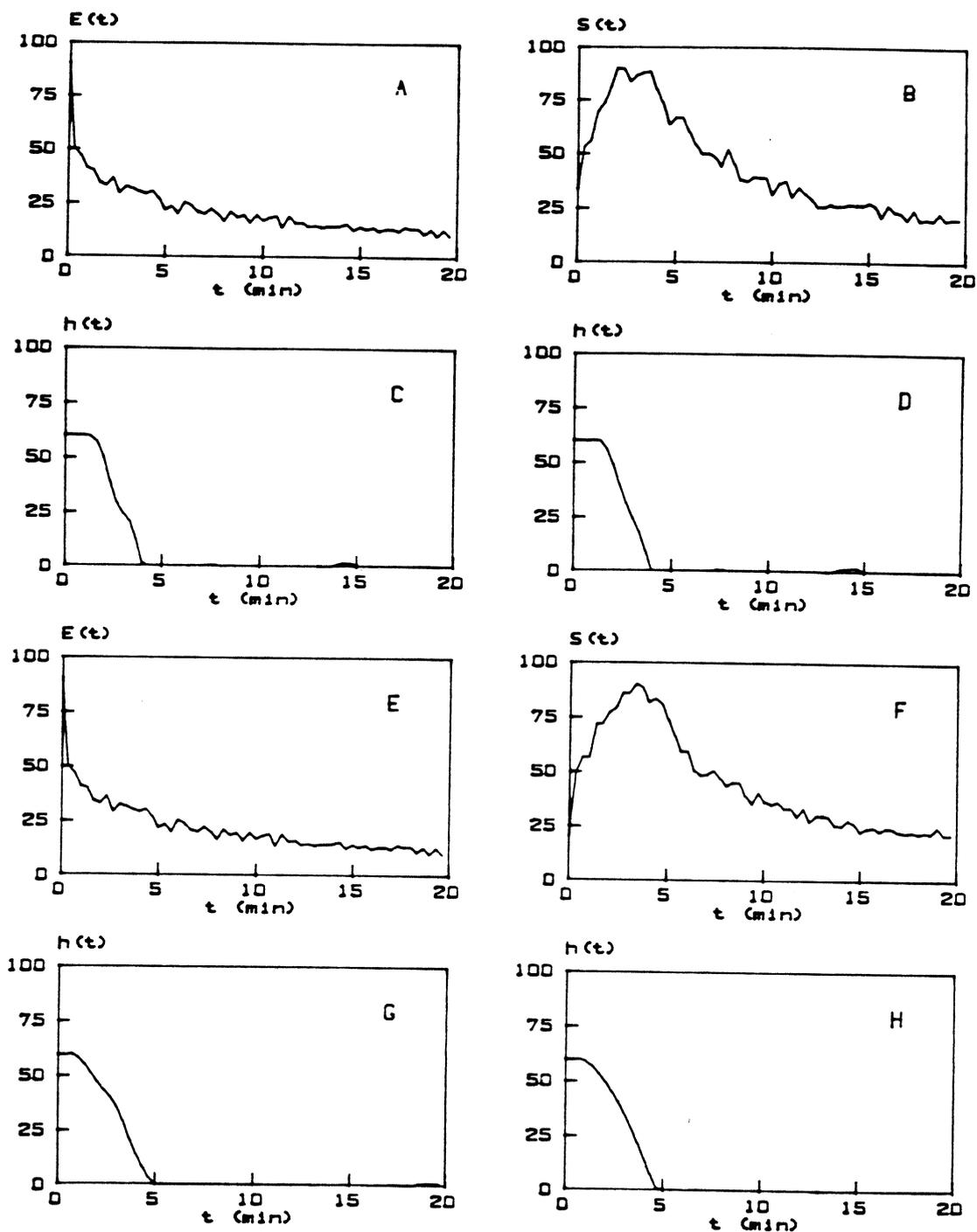


Figura 4.10. Paciente 6.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

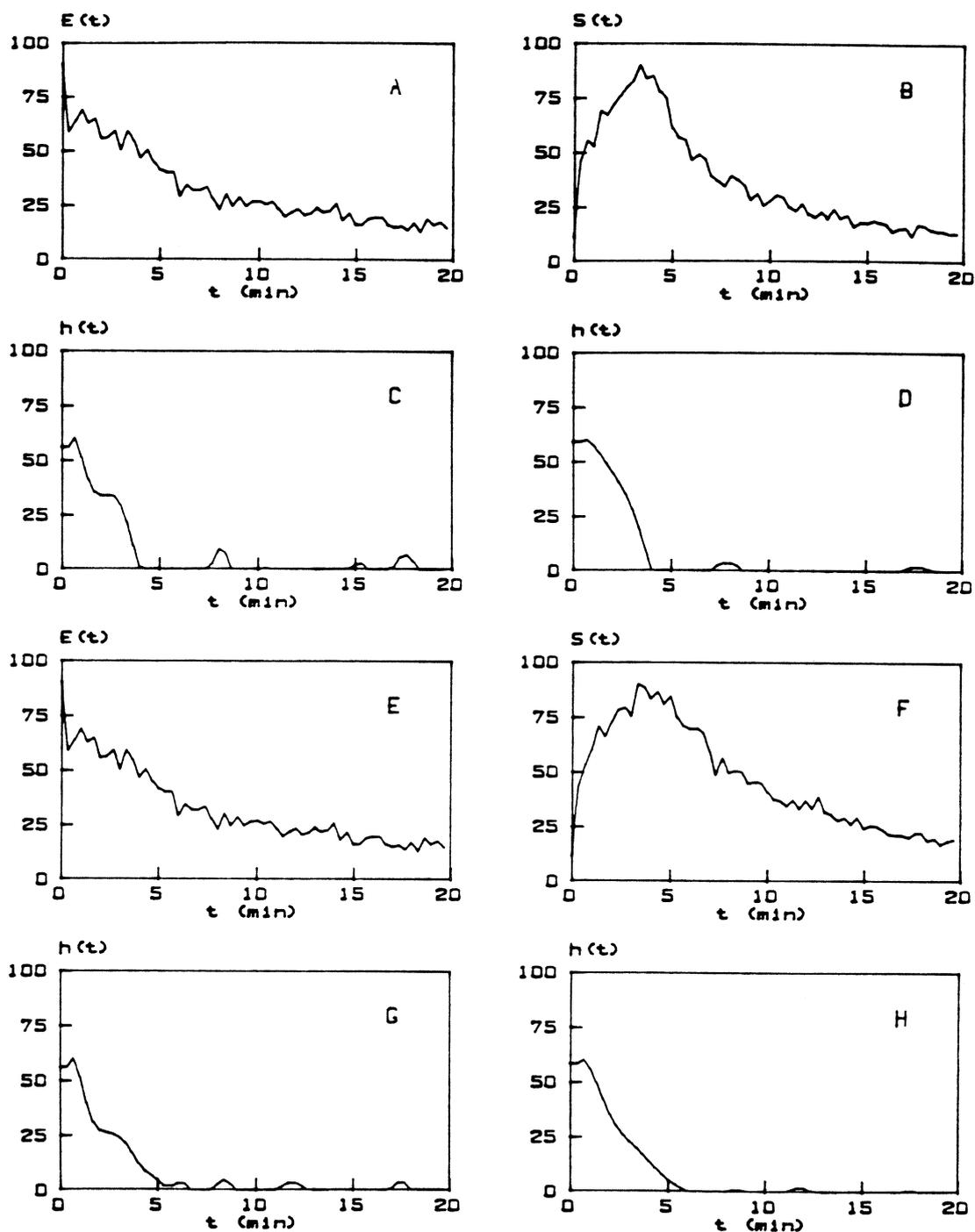


Figura 4.11. Paciente 7.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

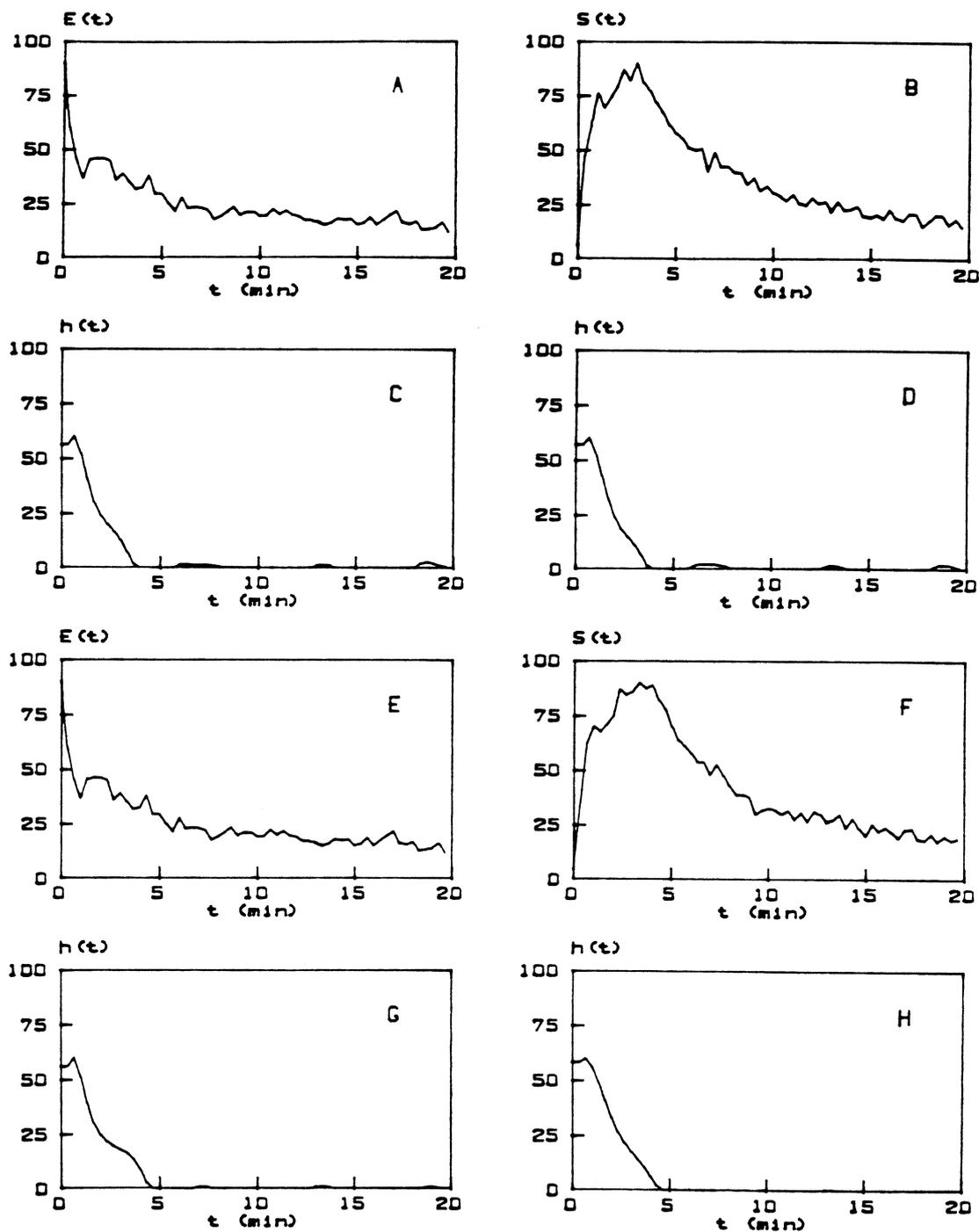


Figura 4.12. Paciente 8.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

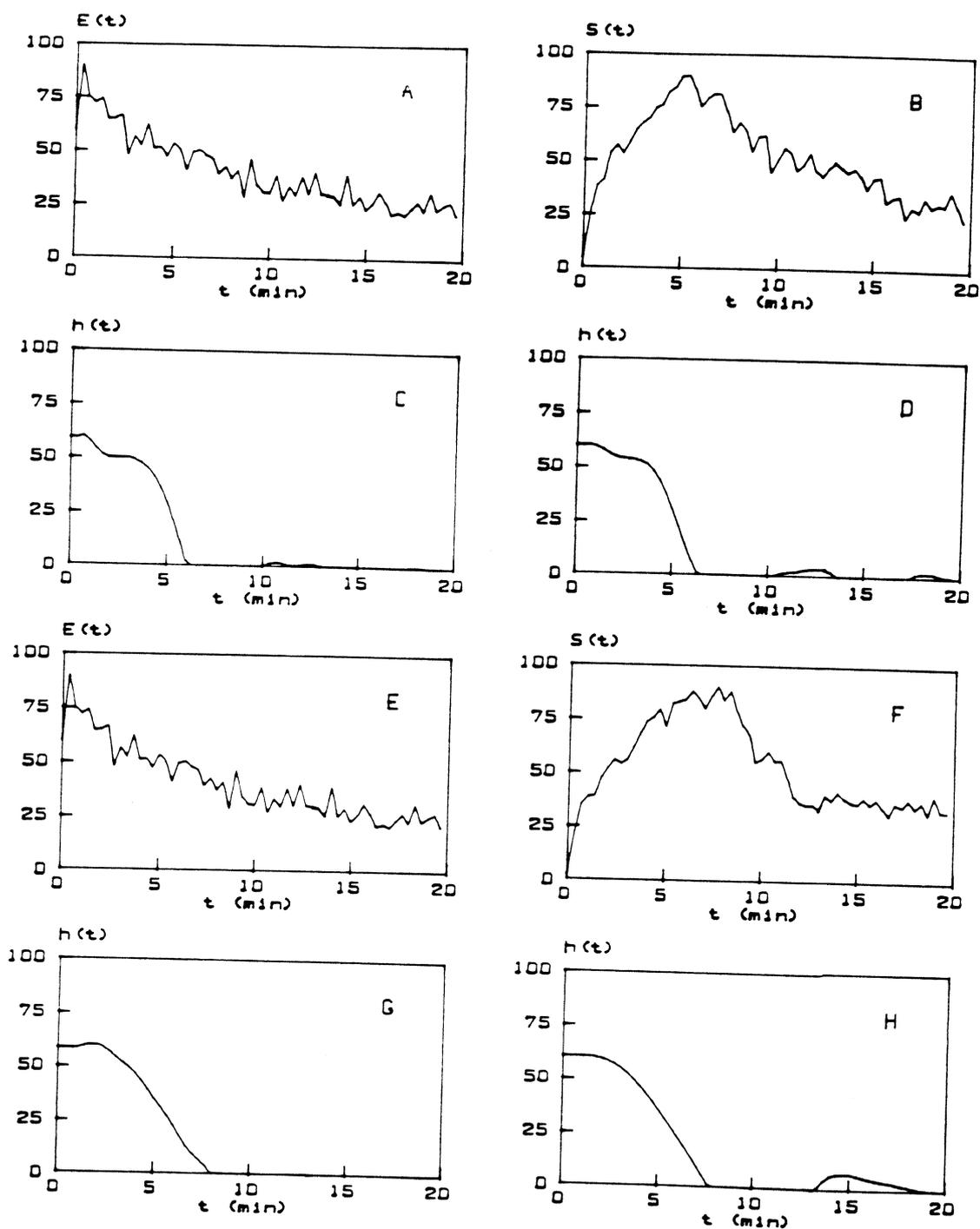


Figura 4.13. Paciente 9.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

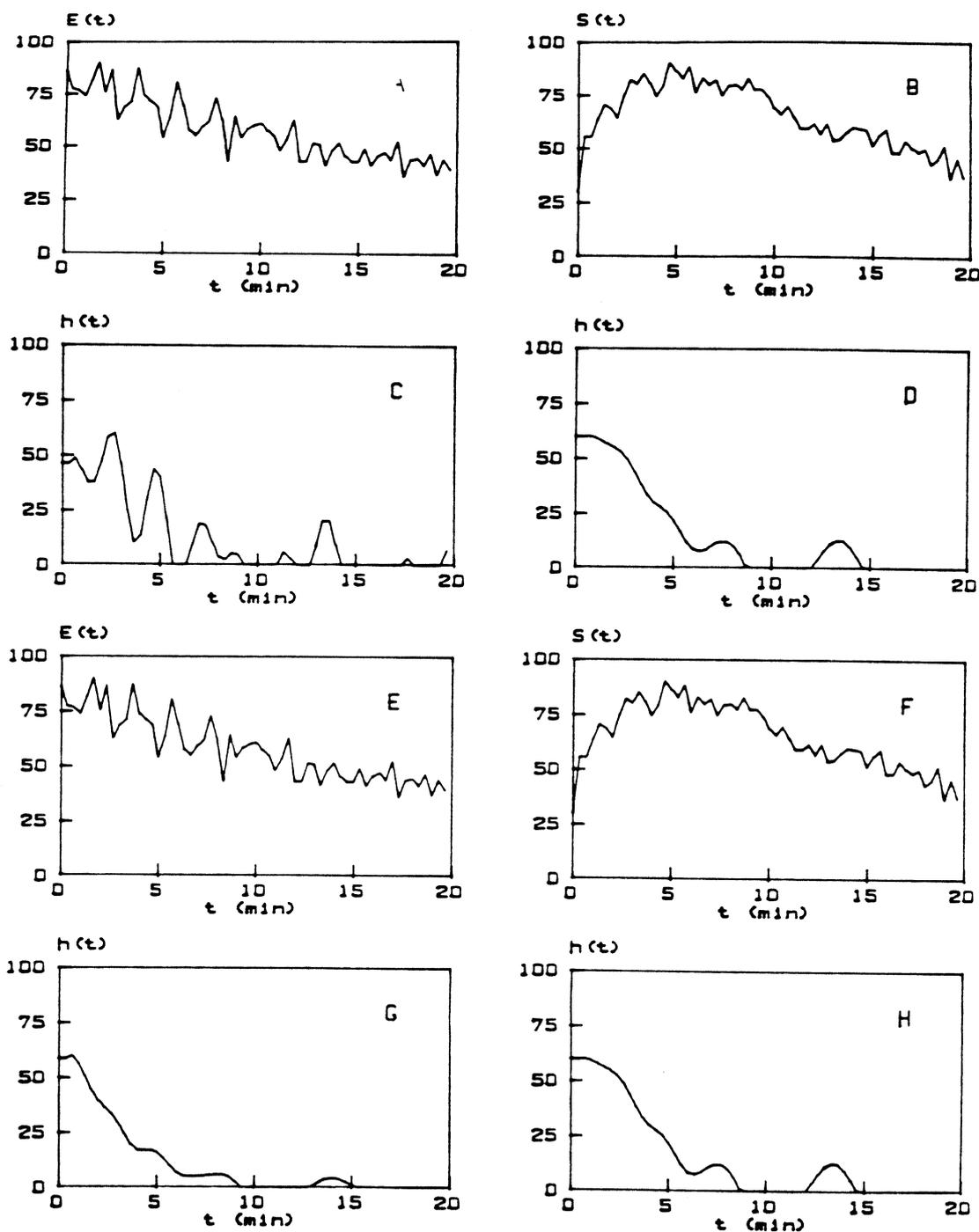


Figura 4.14. Paciente 10.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

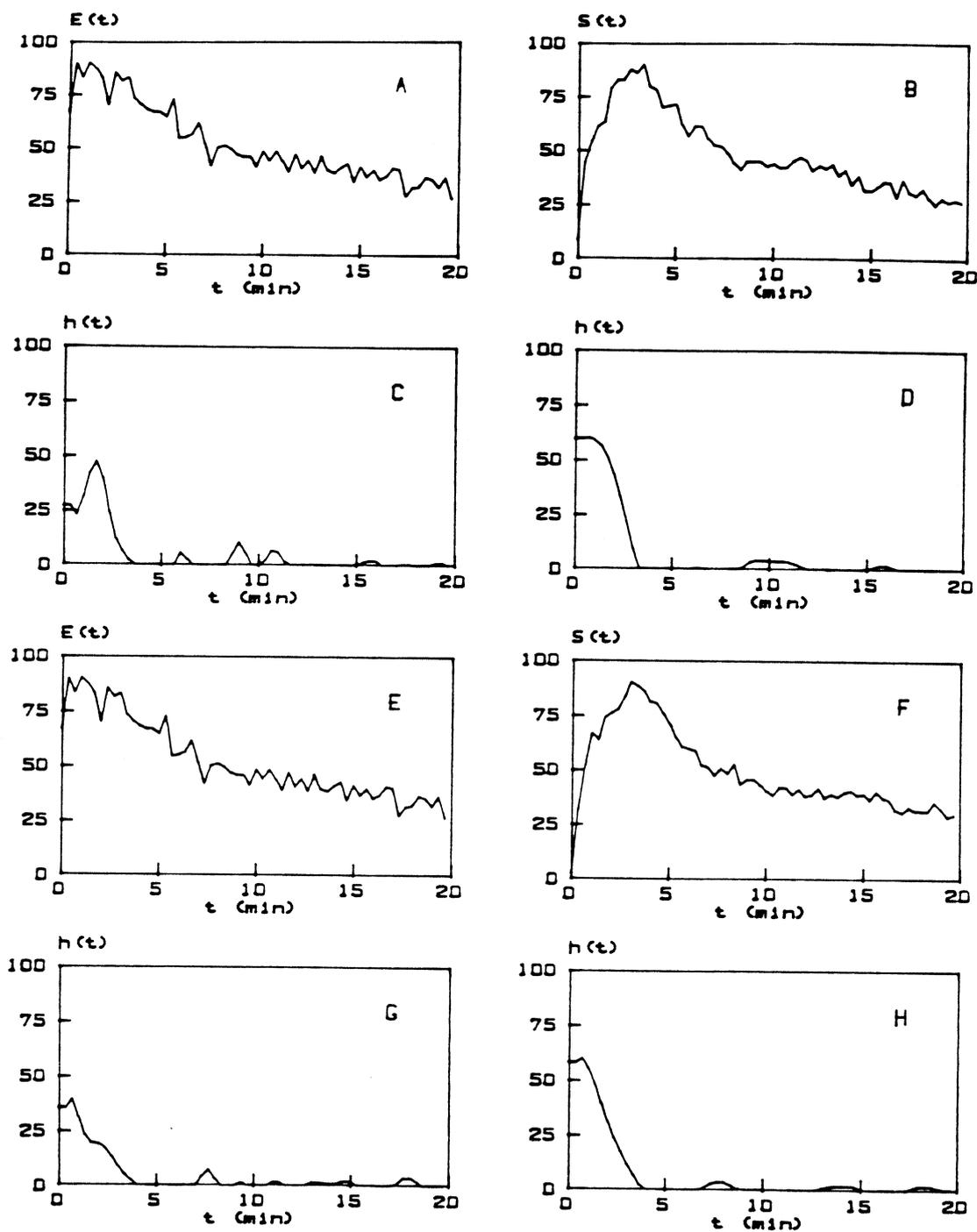


Figura 4.15. Paciente 11.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

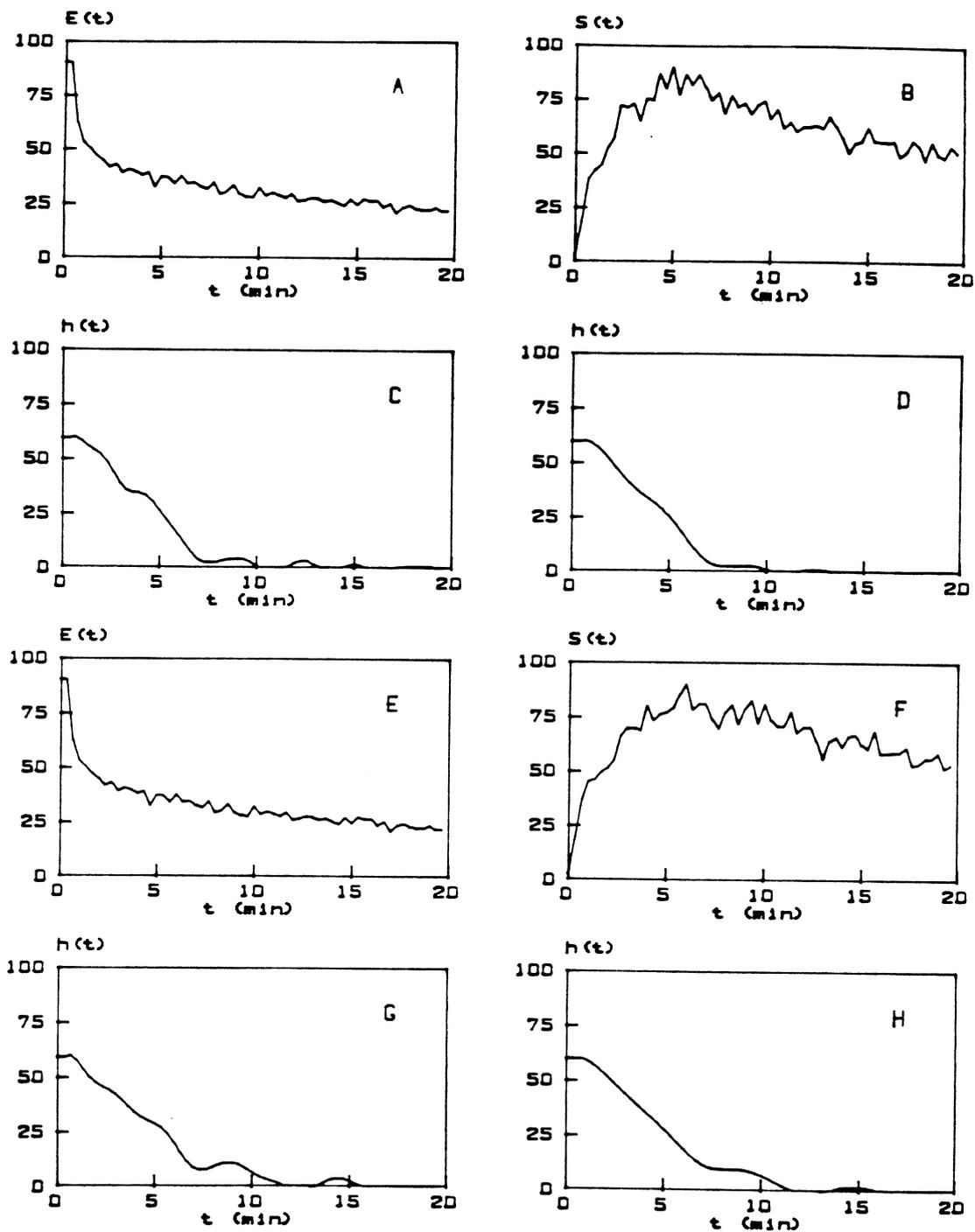


Figura 4.16. Paciente 12.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

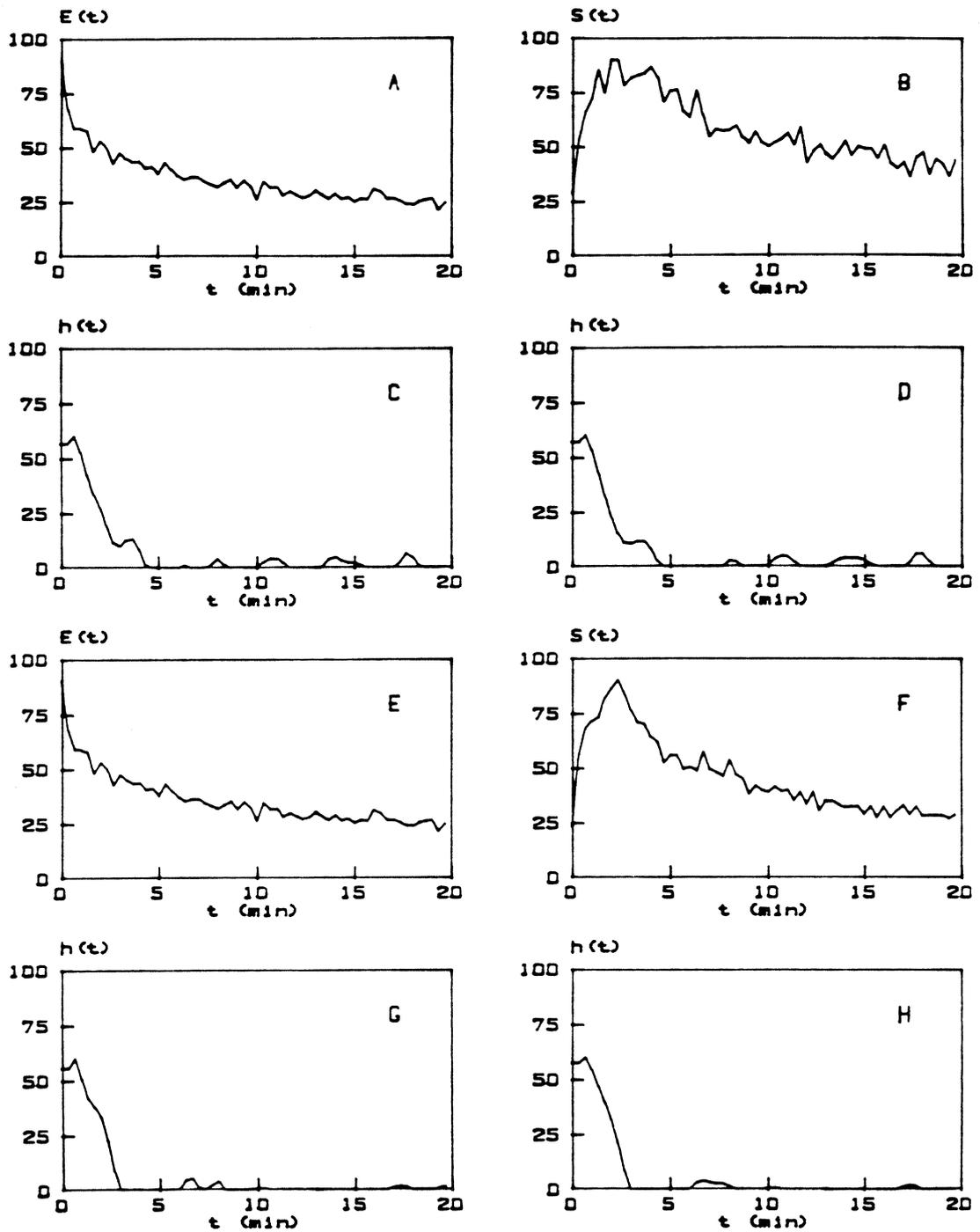


Figura 4.17. Paciente 13.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

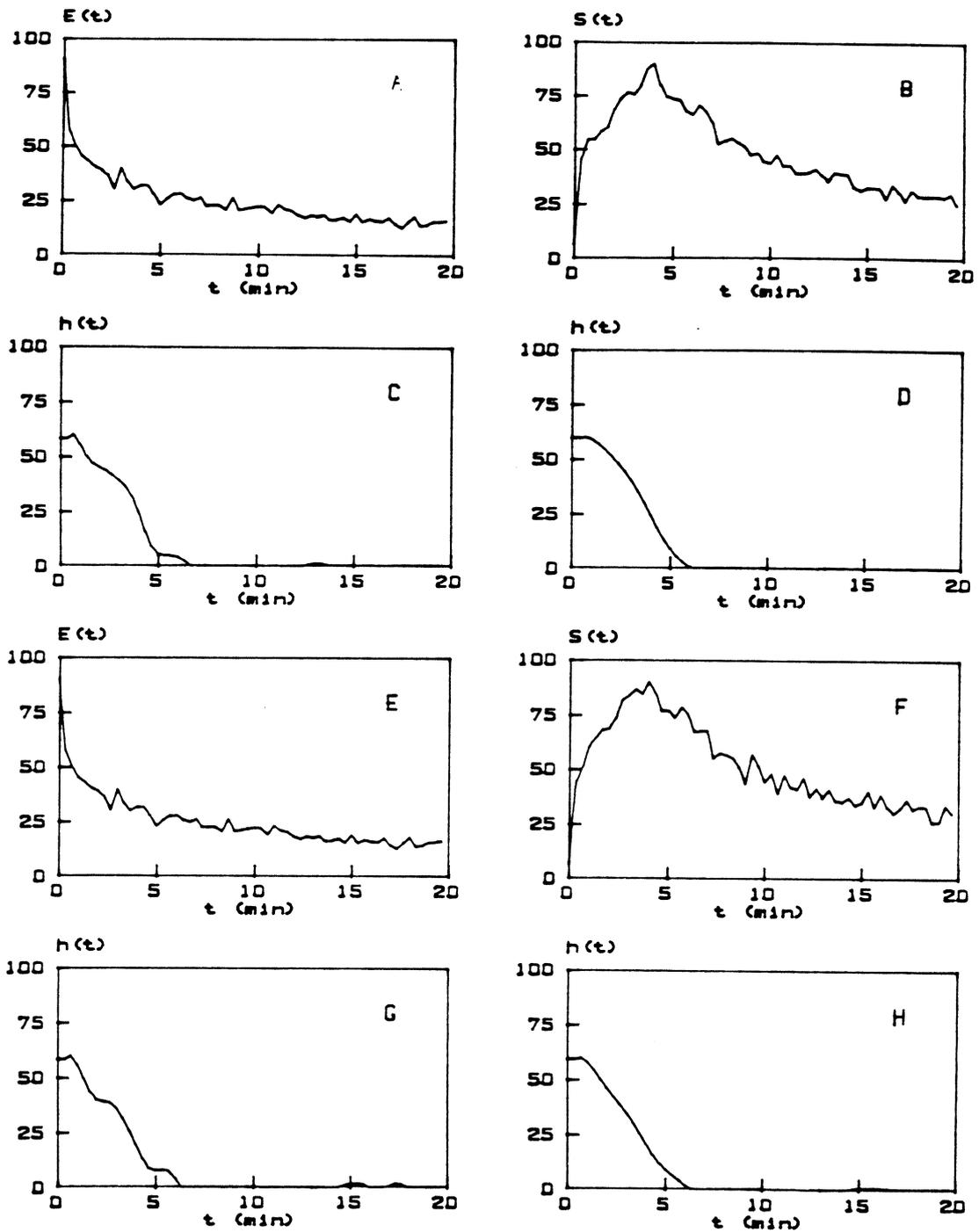


Figura 4.18. Paciente 14.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

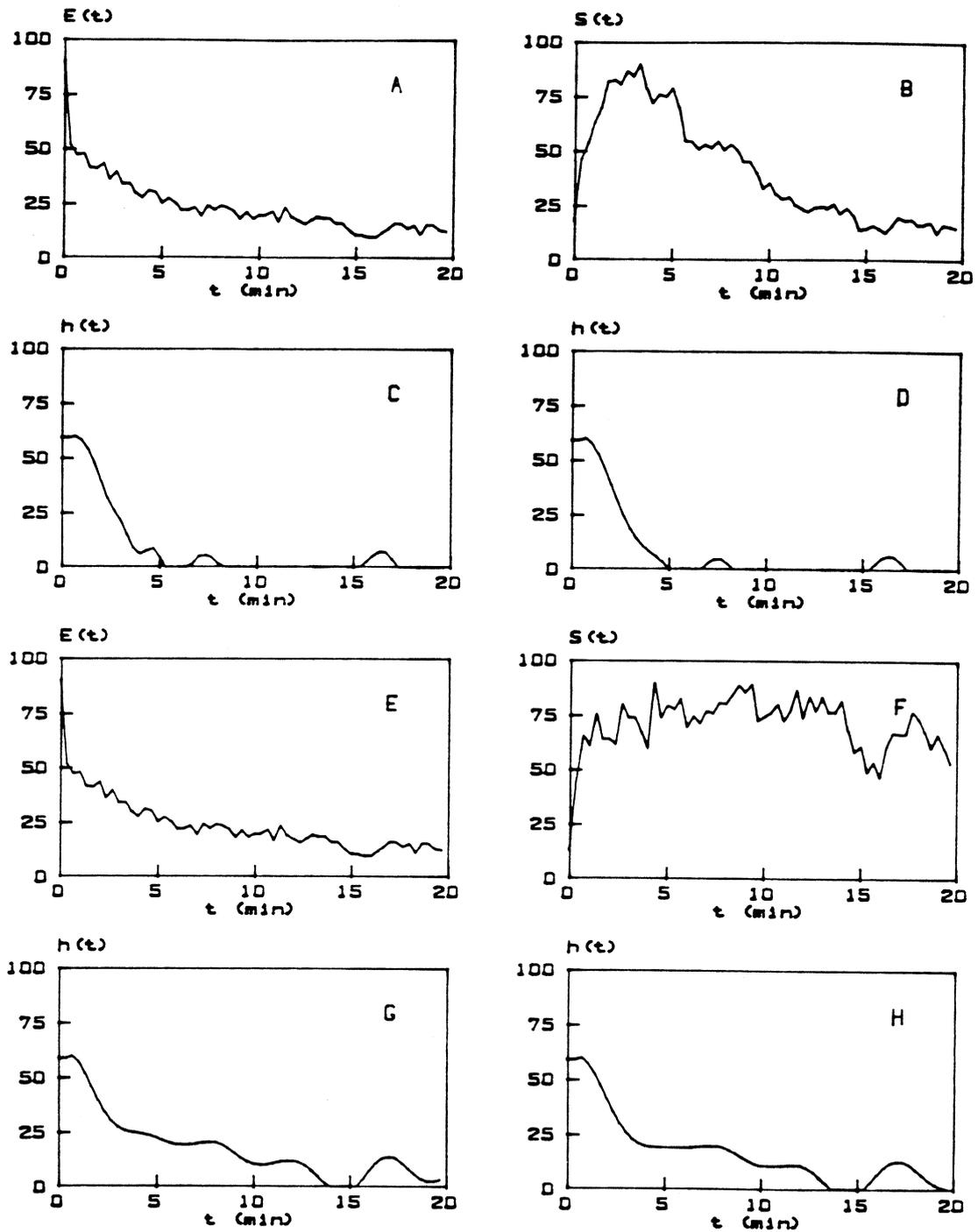


Figura 4.19. Paciente 15.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

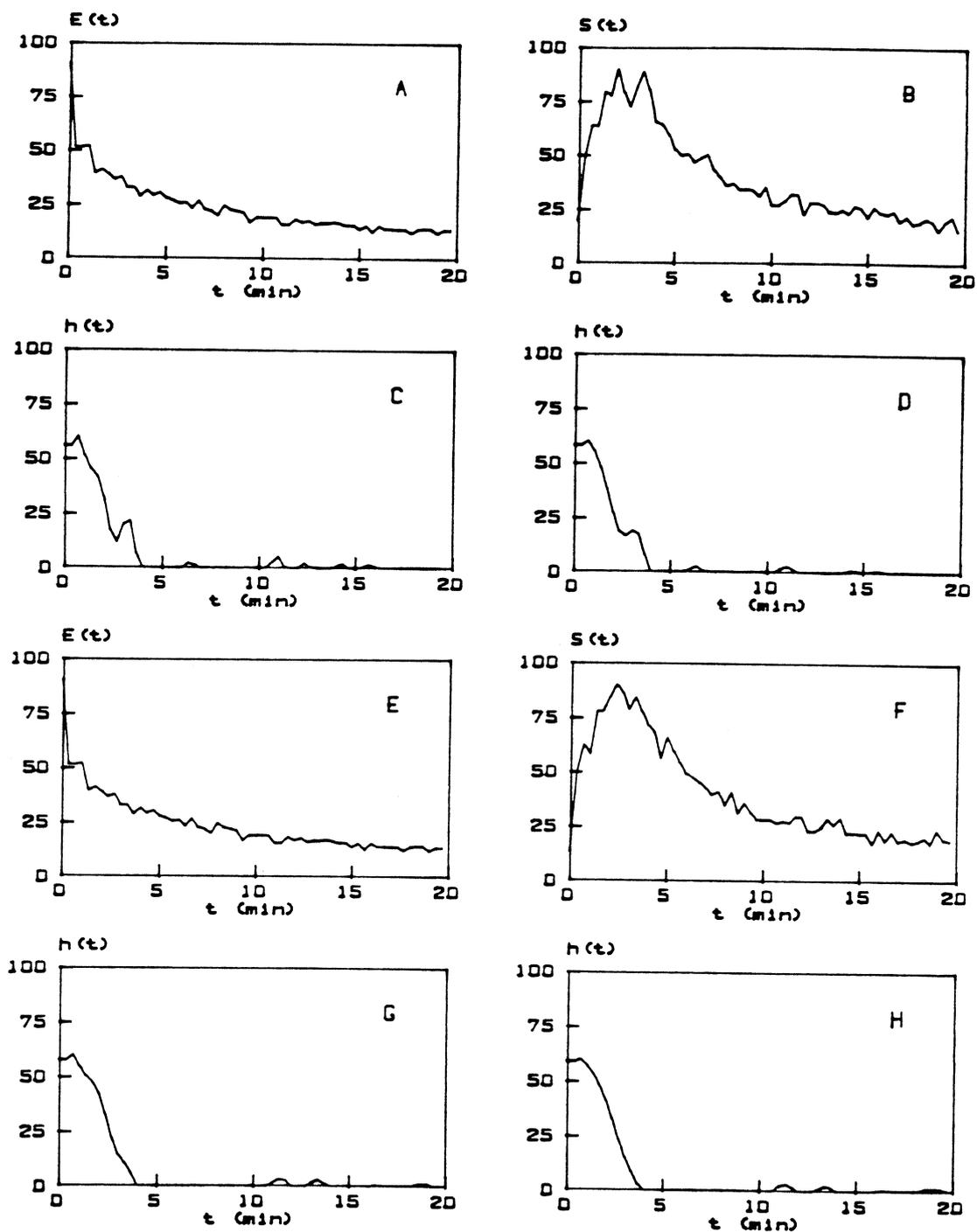


Figura 4.20. Paciente 16.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

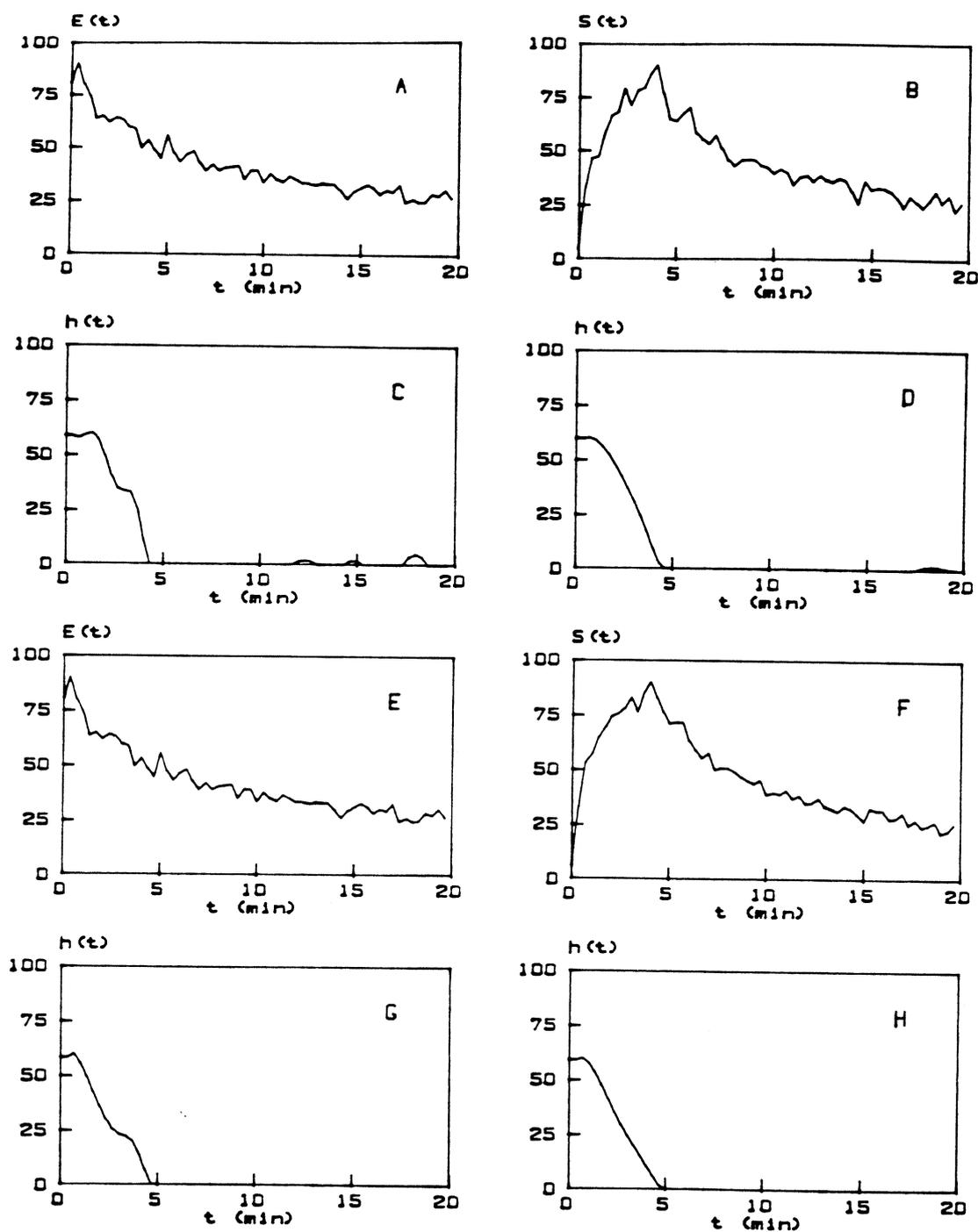


Figura 4.21. Paciente 17.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

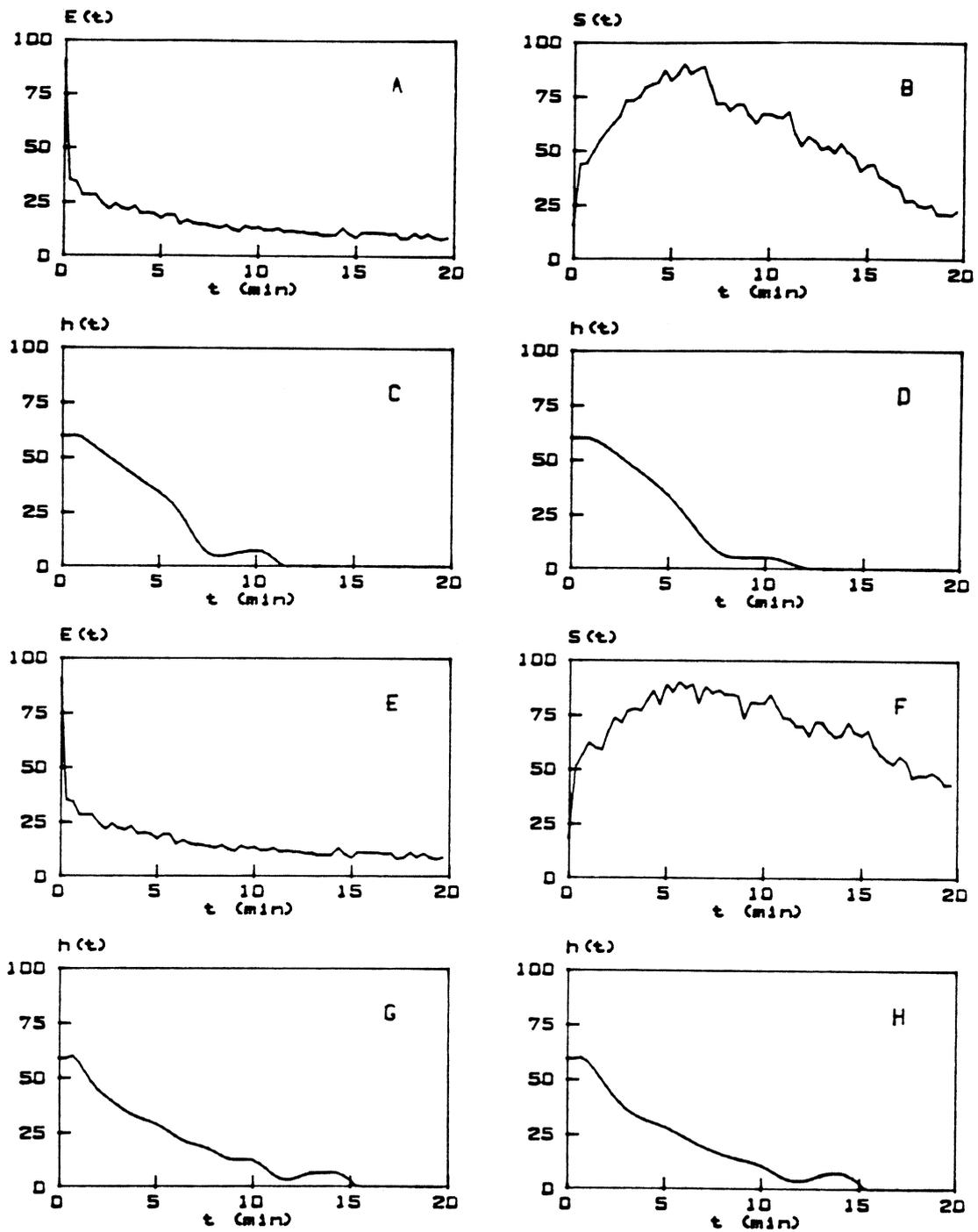


Figura 4.22. Paciente 18.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

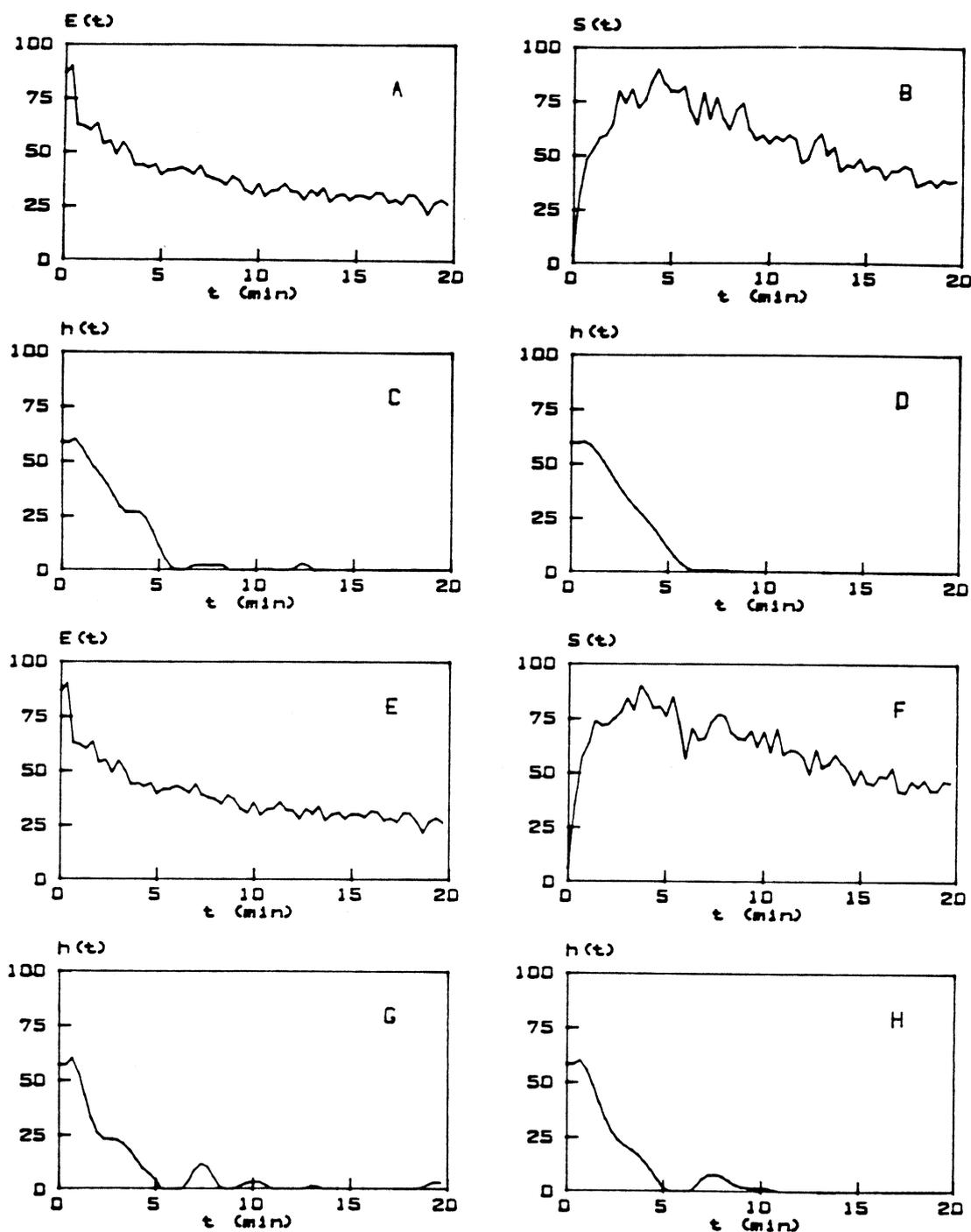


Figura 4.23. Paciente 19.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

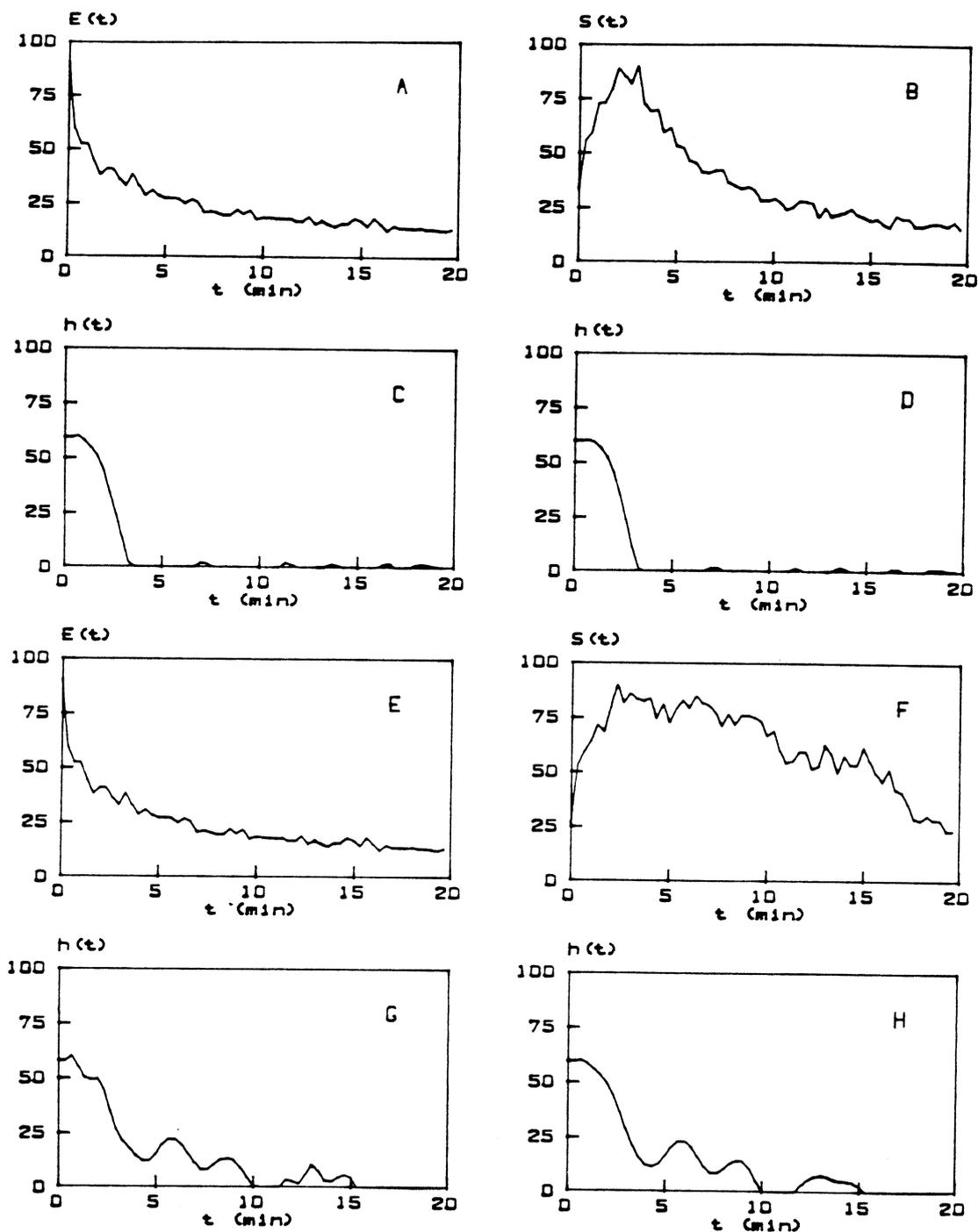


Figura 4.24. Paciente 20.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

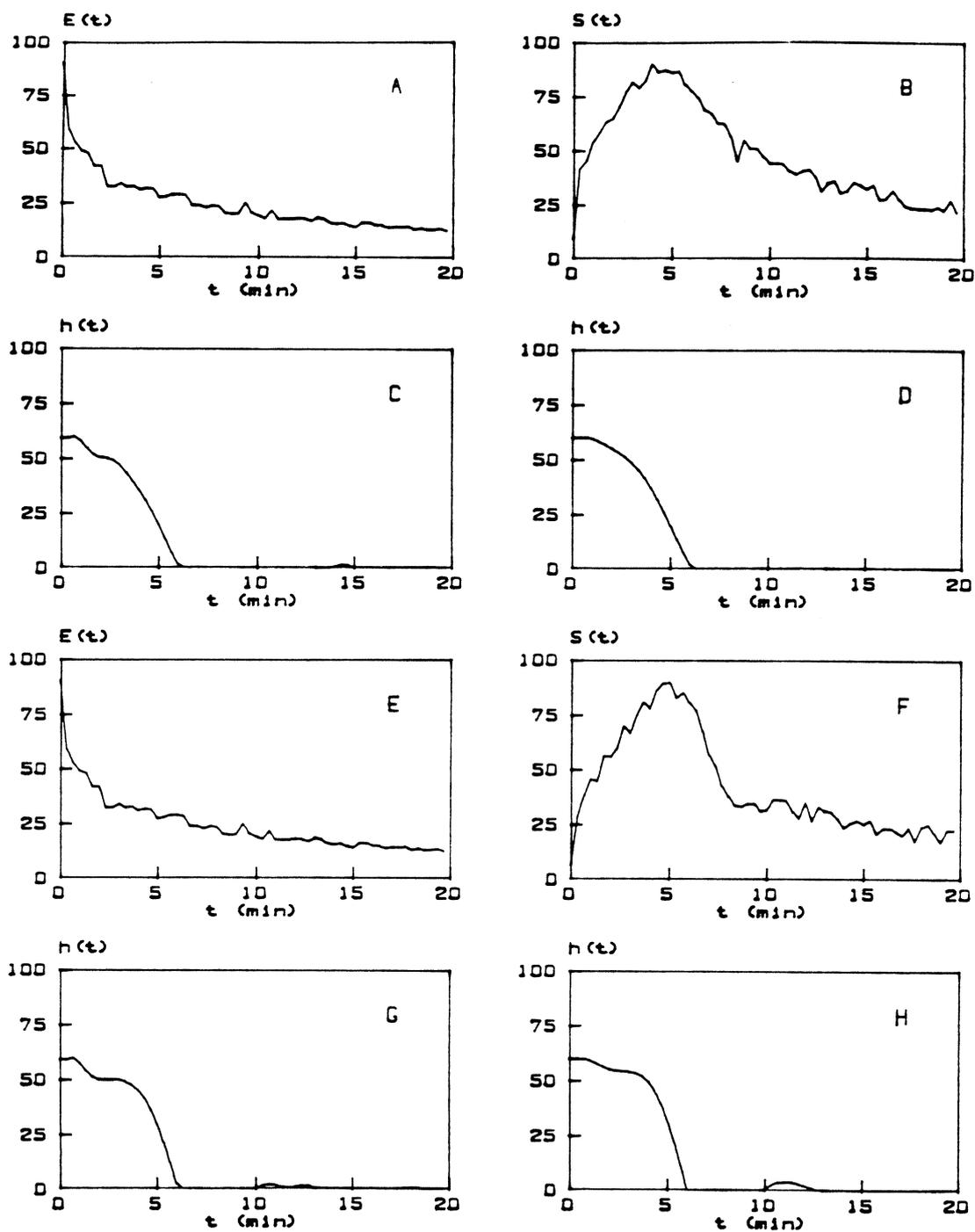


Figura 4.25. Paciente 21.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

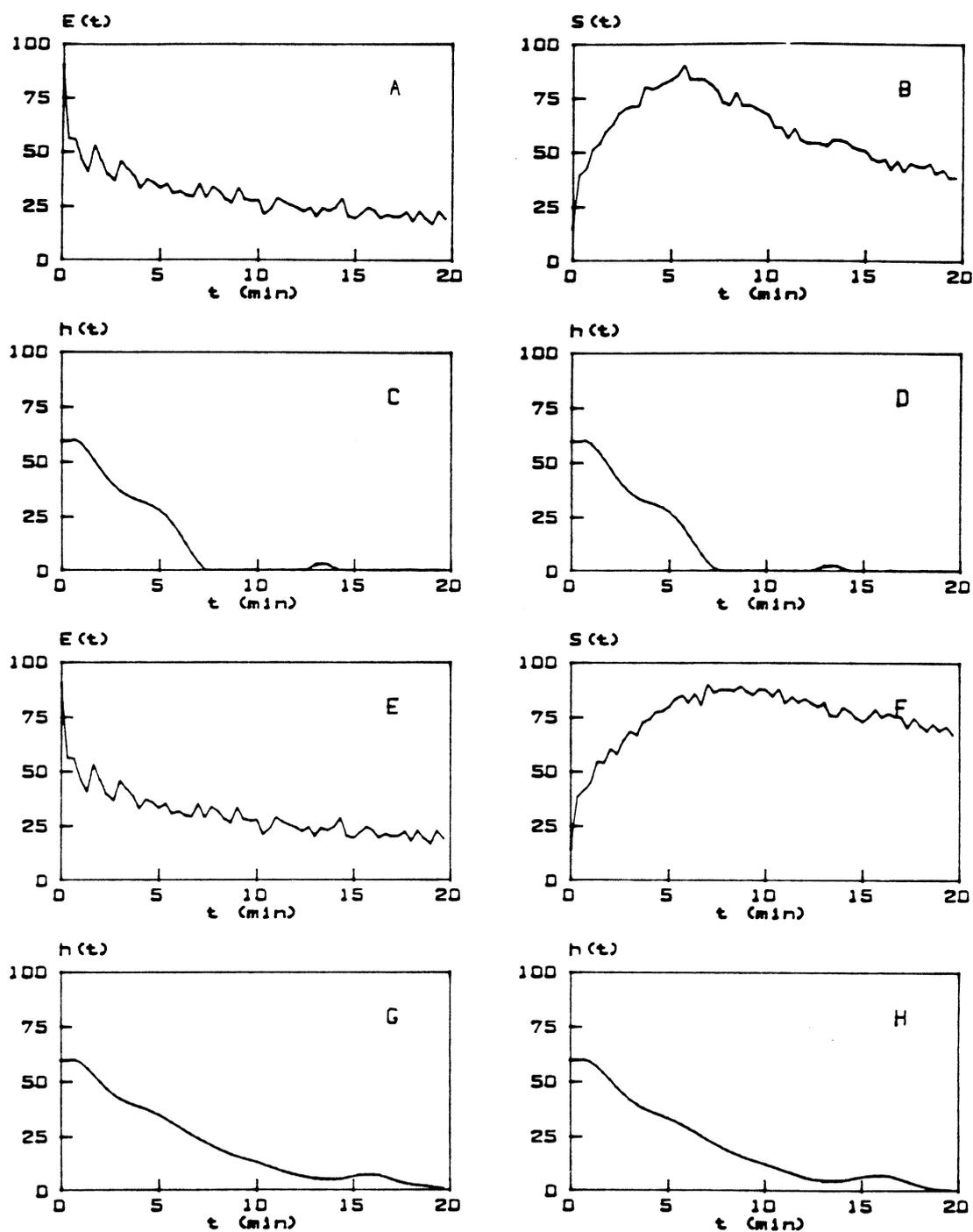


Figura 4.26. Paciente 22.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

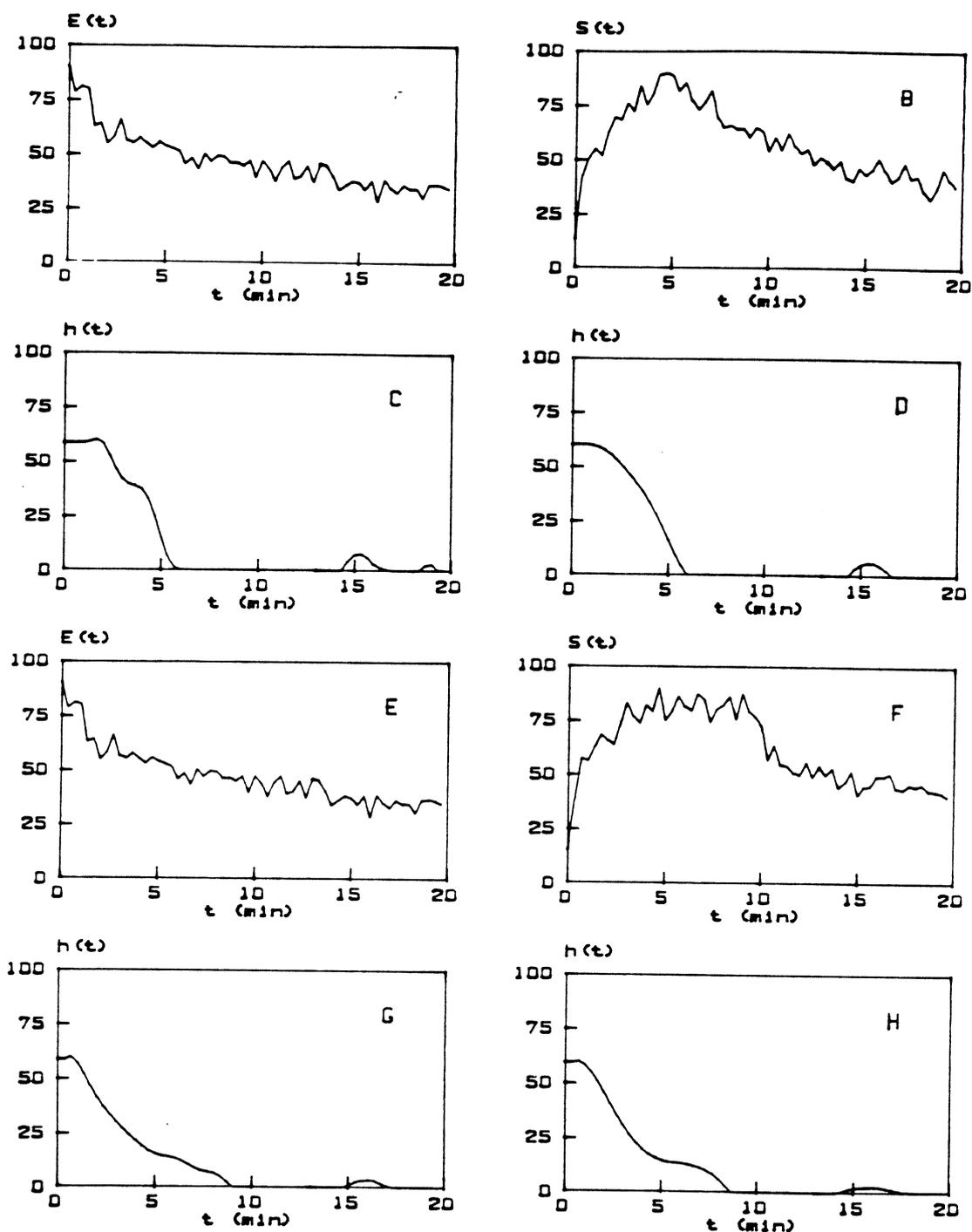


Figura 4.27. Paciente 23.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

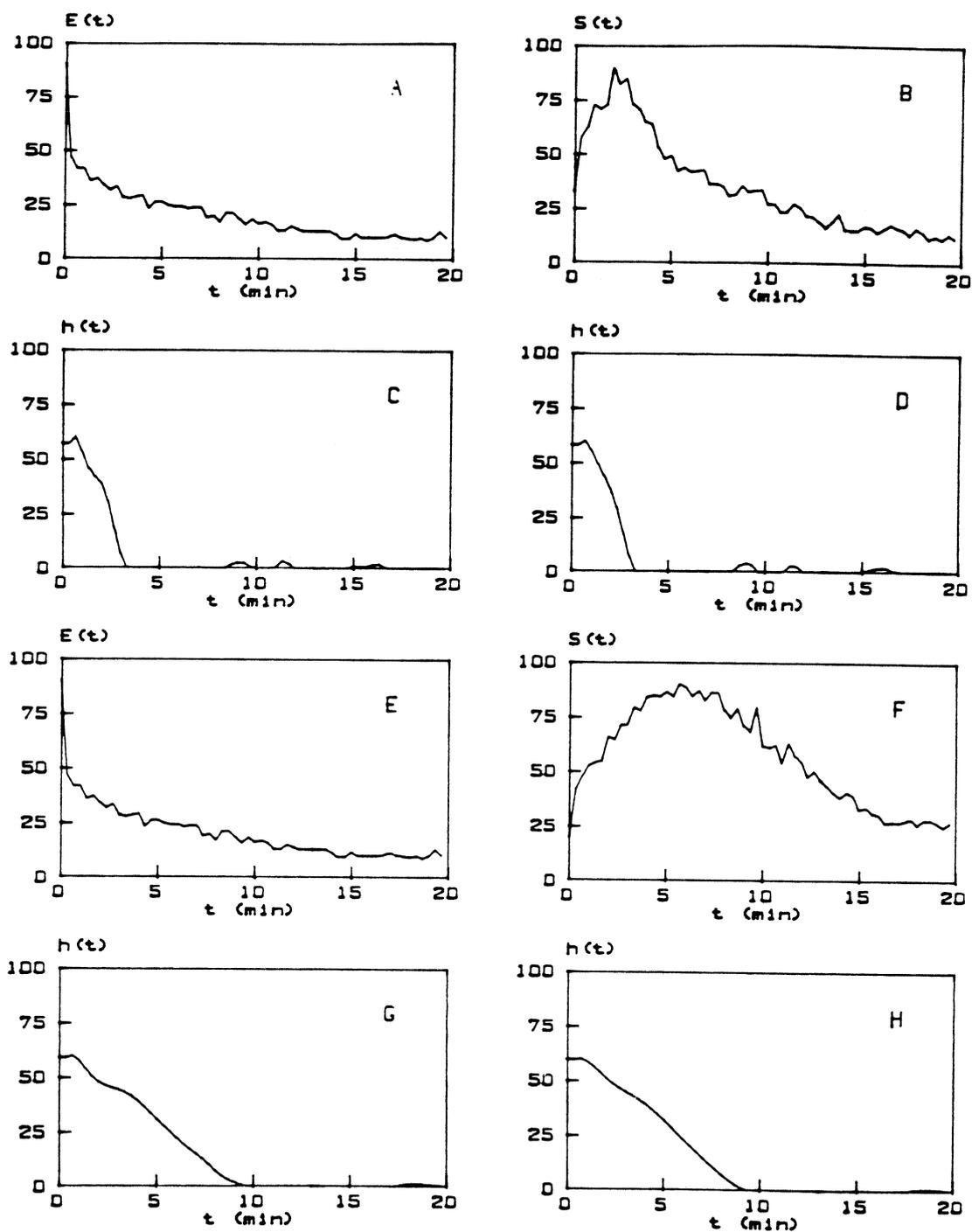


Figura 4.28. Paciente 24.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

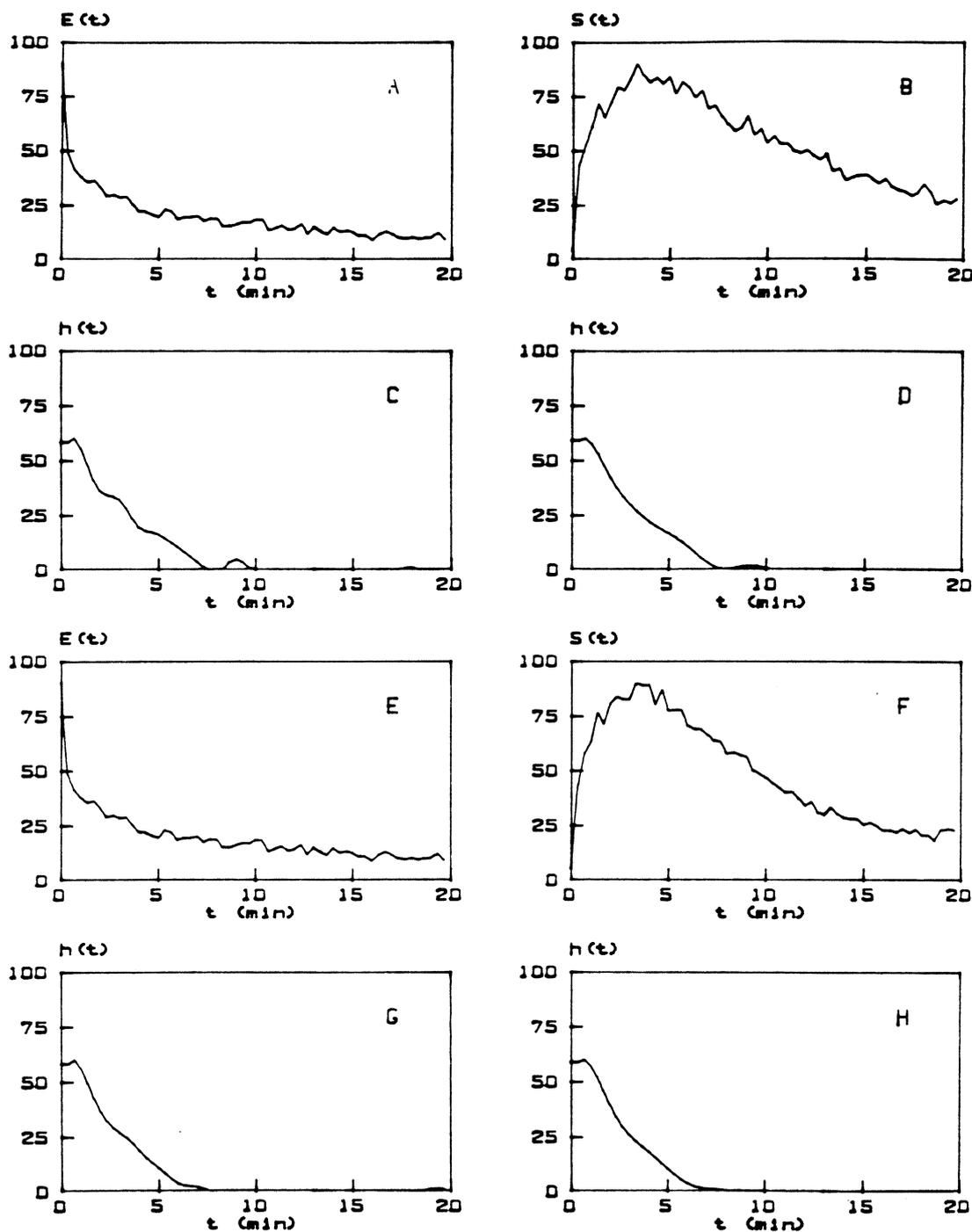


Figura 4.29. Paciente 25.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

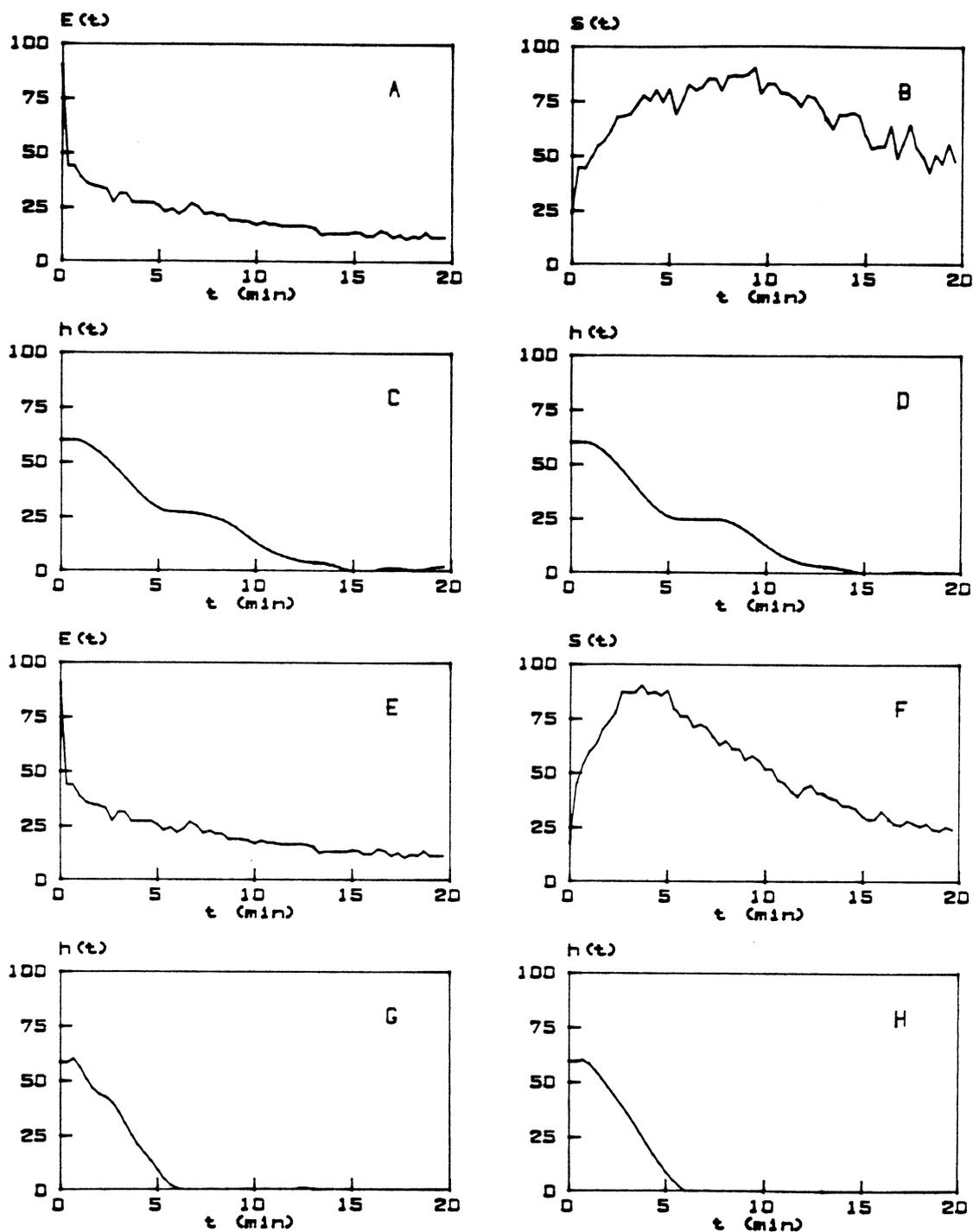


Figura 4.30. Paciente 26.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

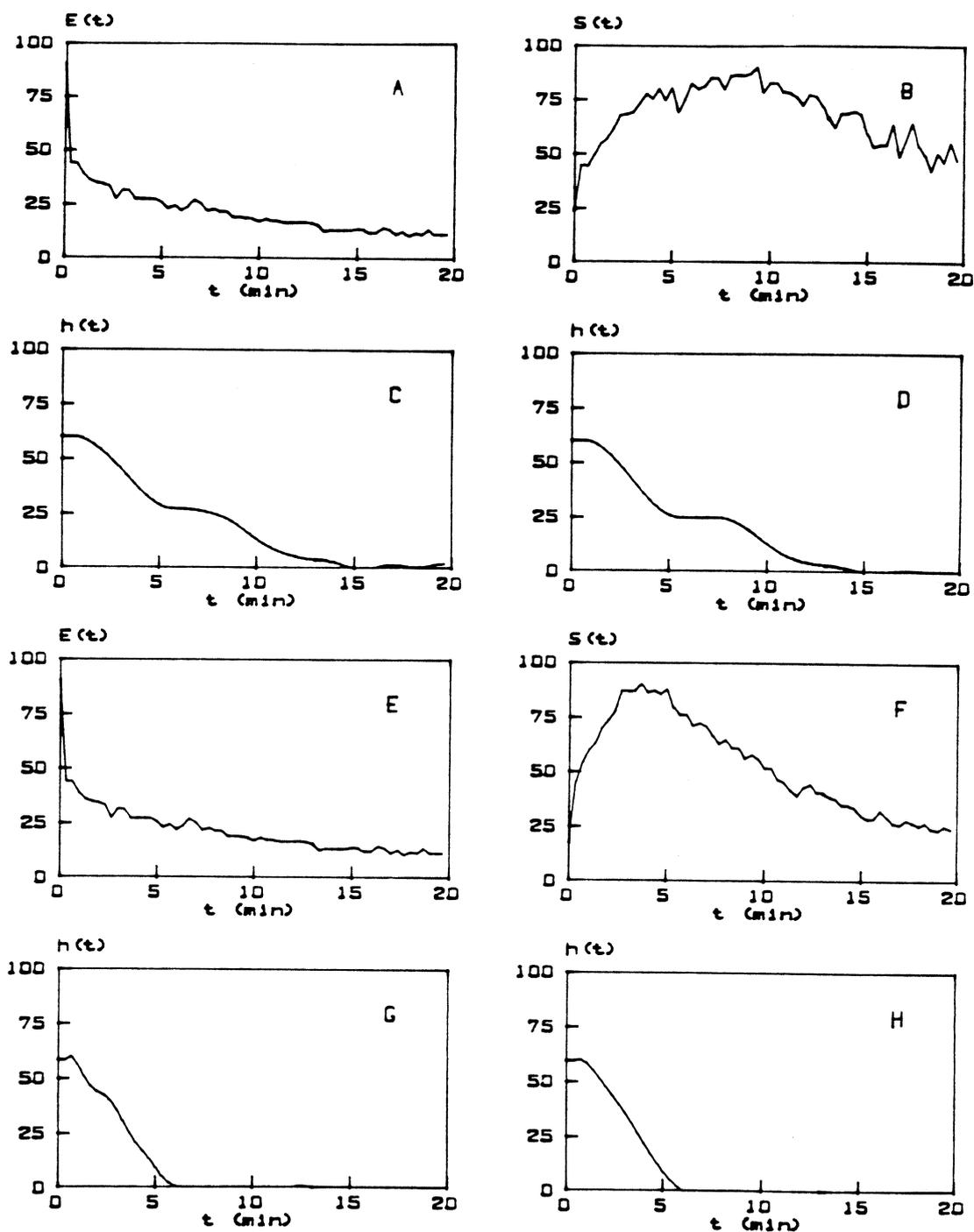


Figura 4.31. Paciente 27.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

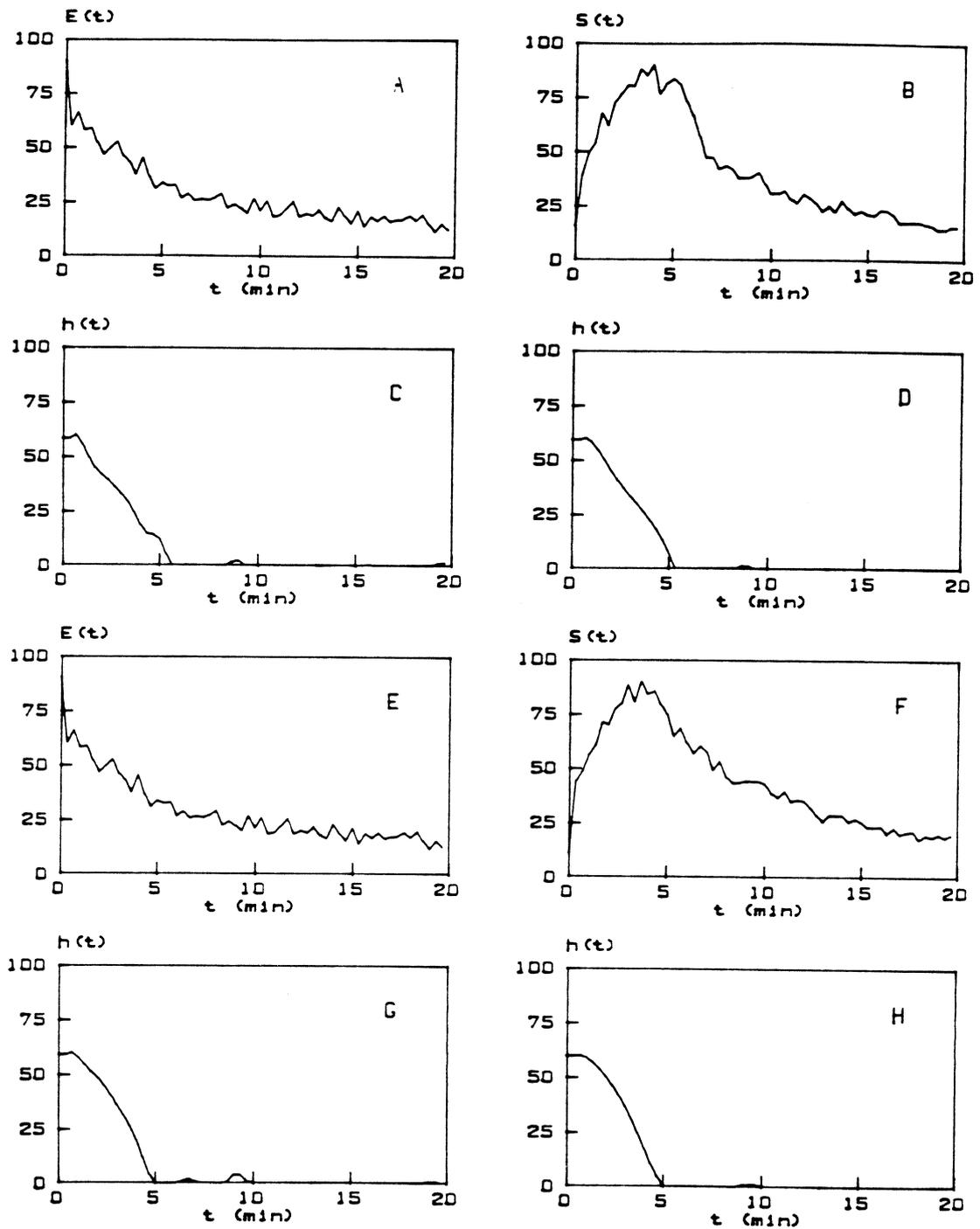


Figura 4.32. Paciente 28.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

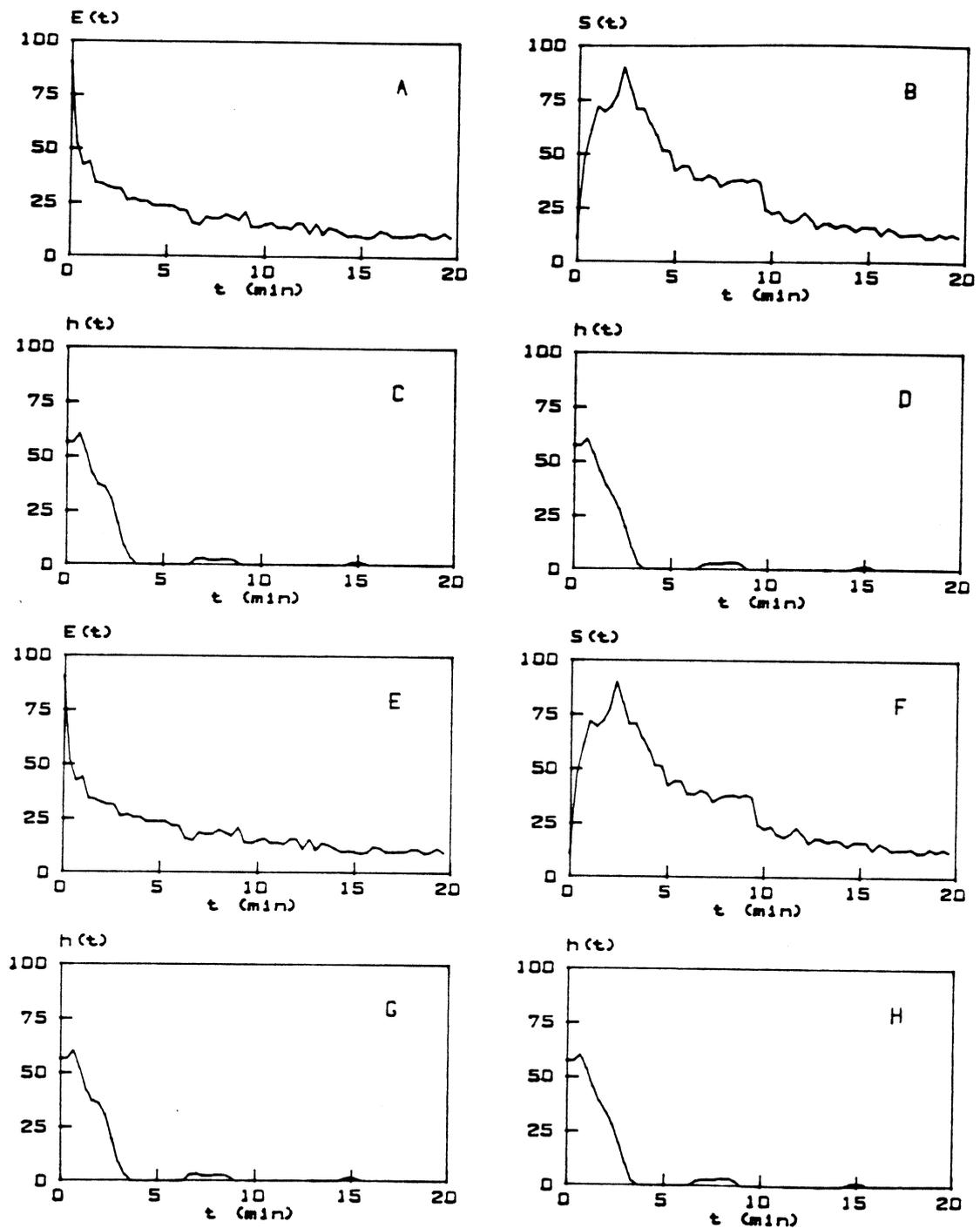


Figura 4.33. Paciente 29.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

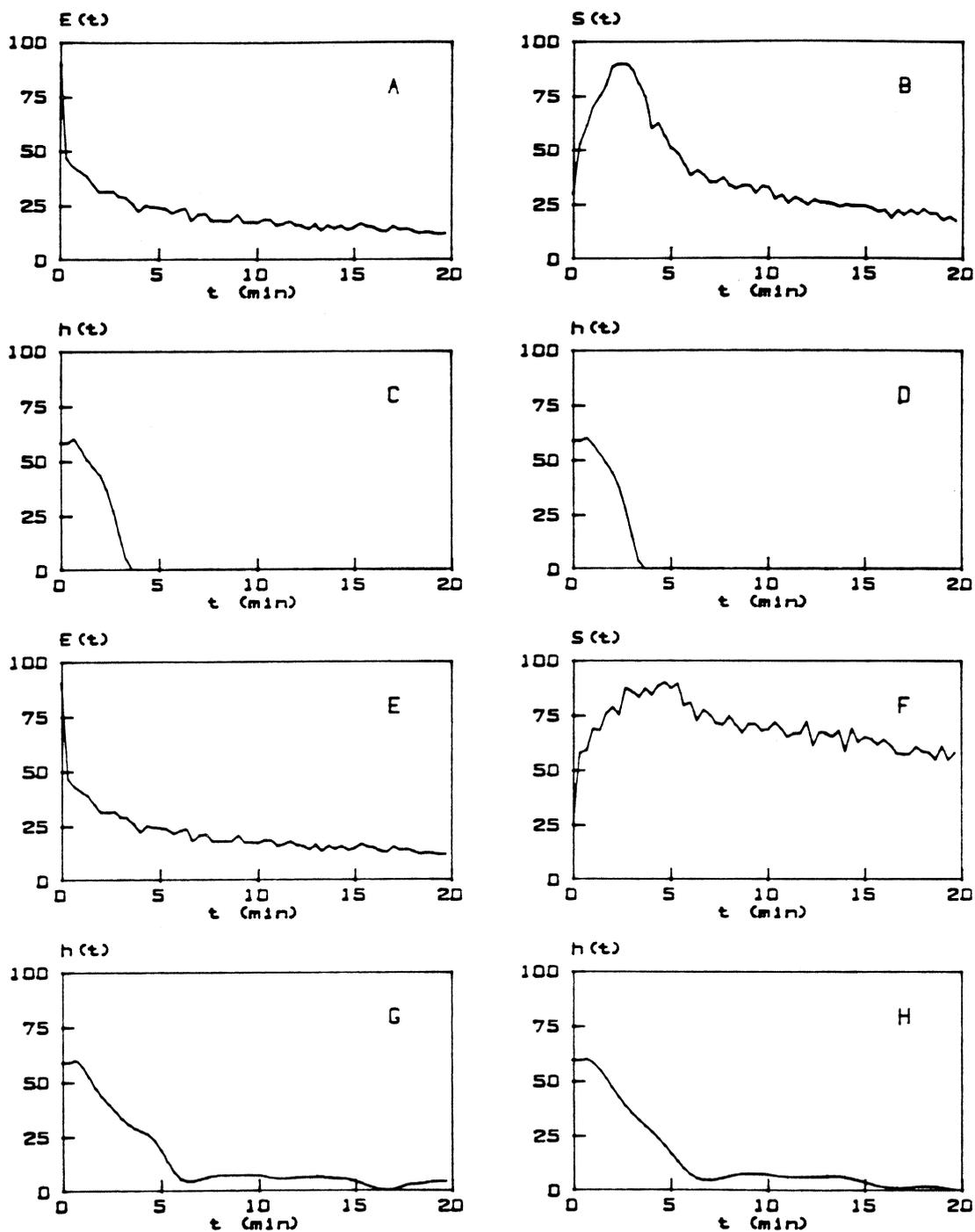


Figura 4.34. Paciente 30.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

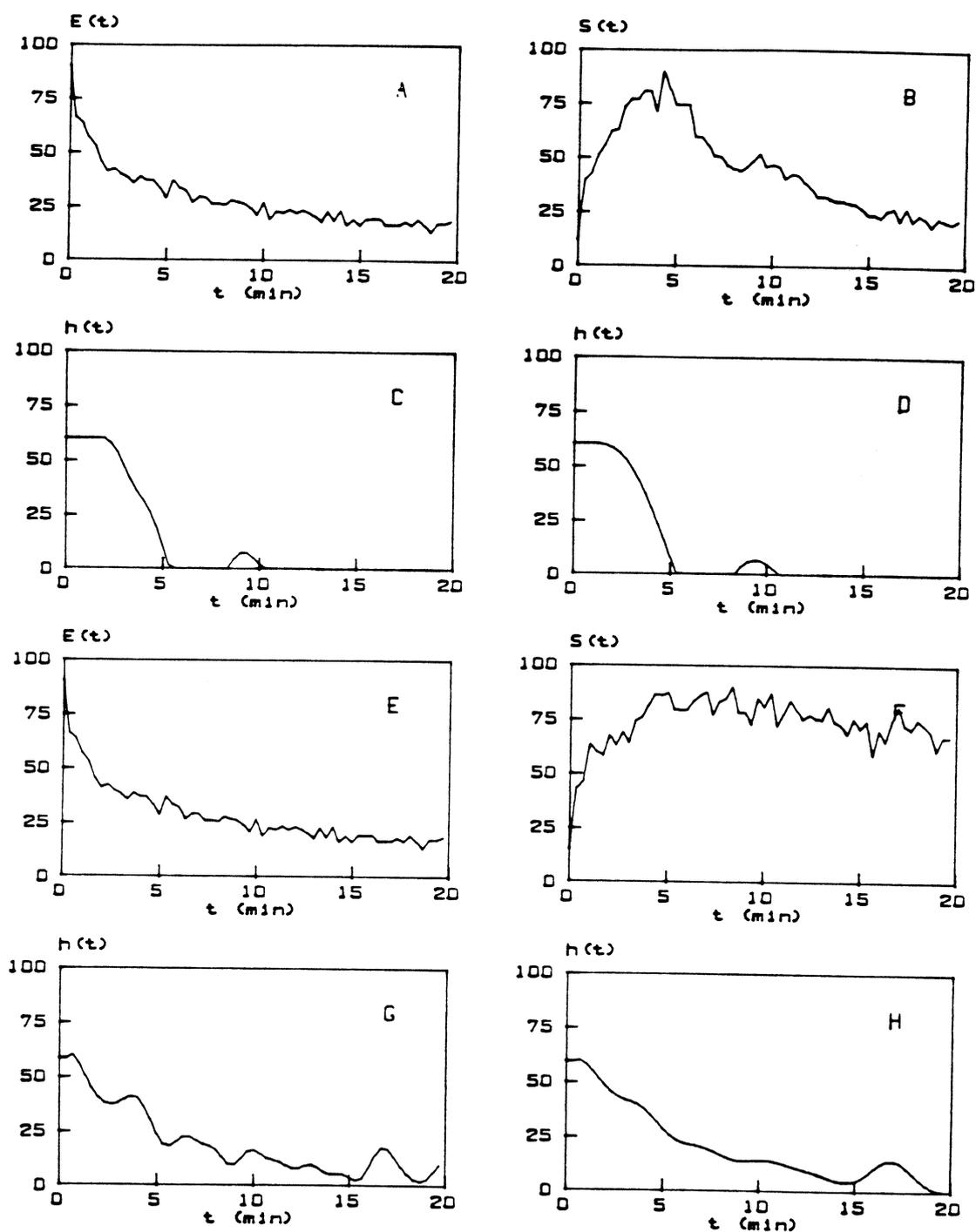


Figura 4.35. Paciente 31.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

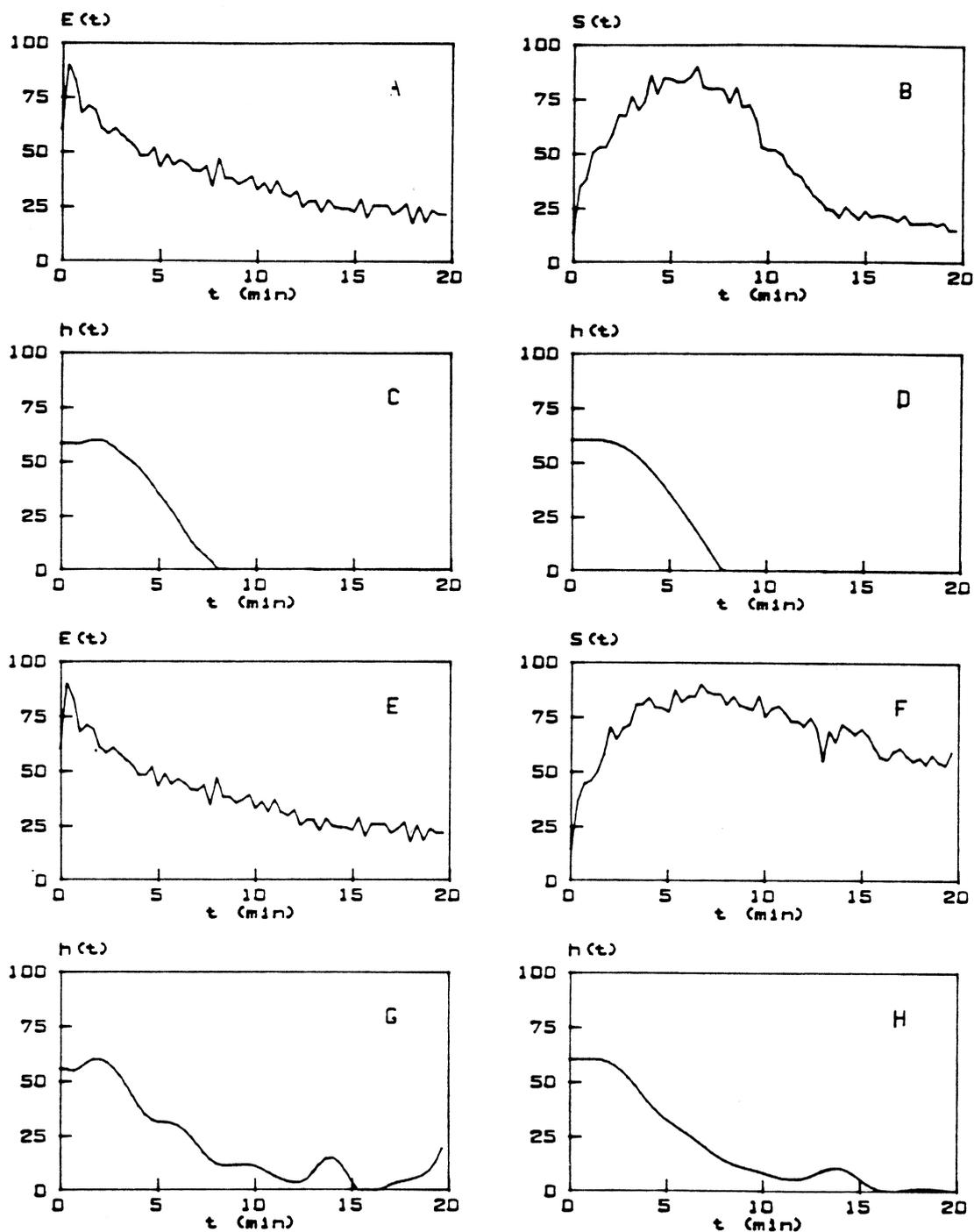


Figura 4.36. Paciente 32.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

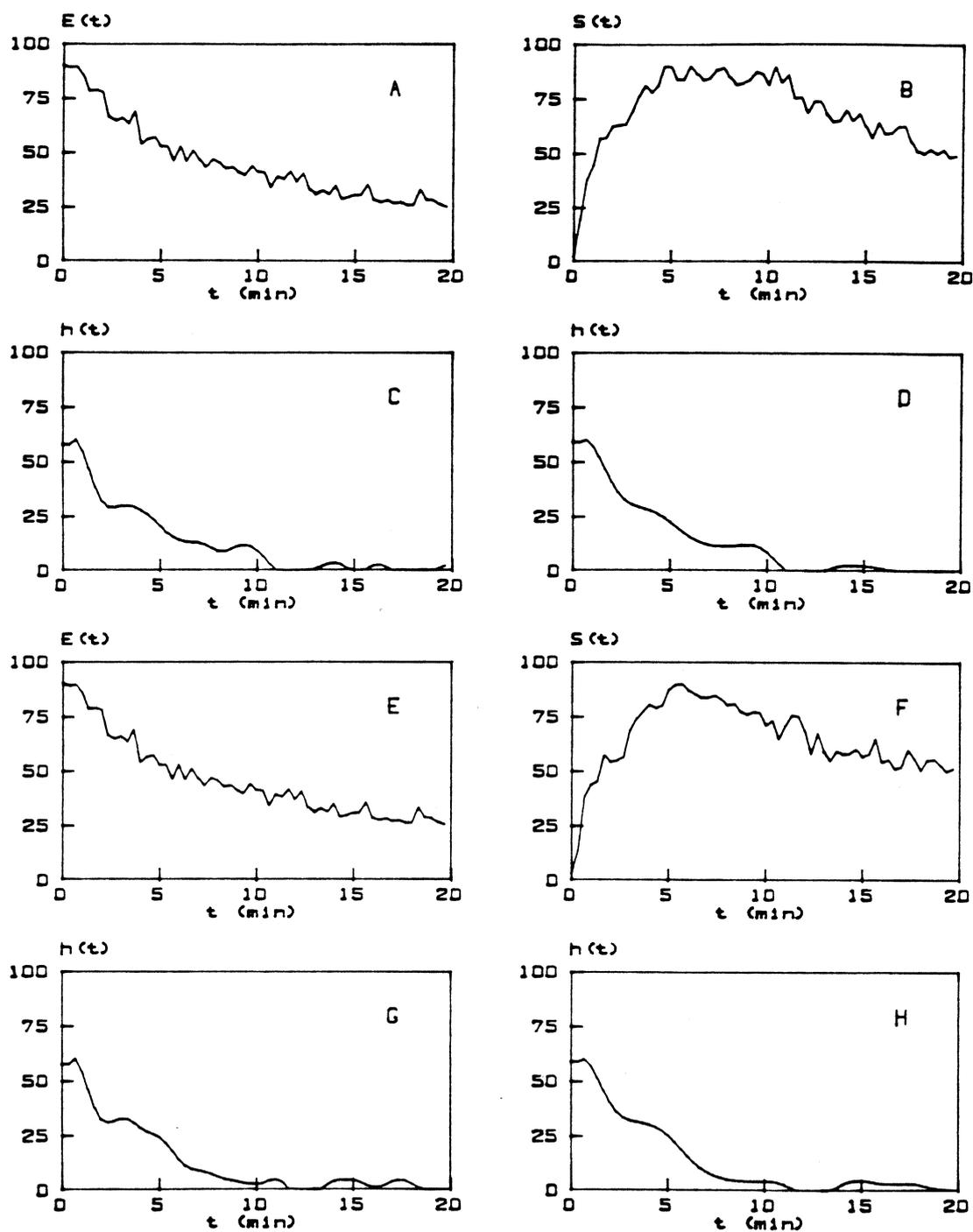


Figura 4.37. Paciente 33.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

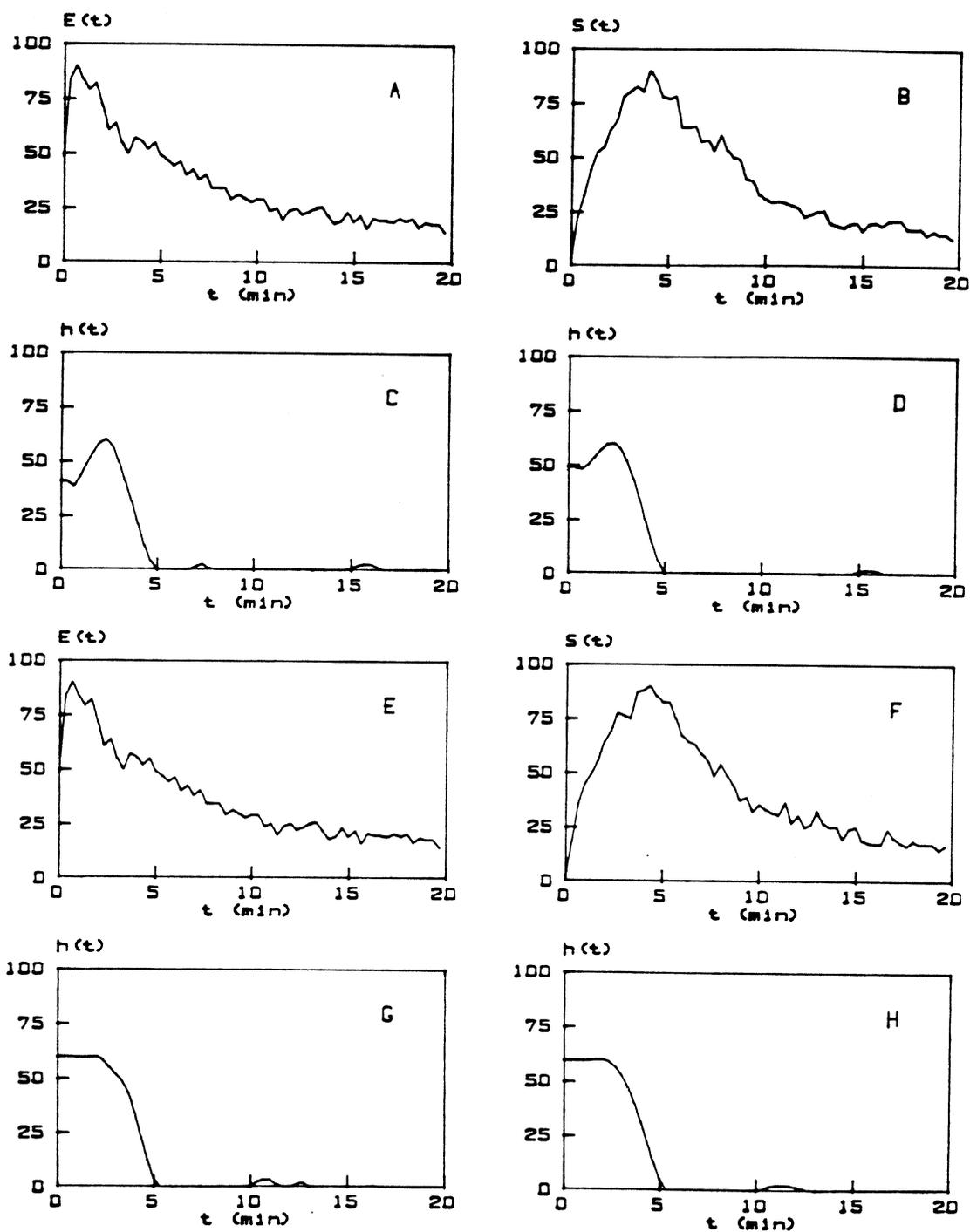


Figura 4.38. Paciente 34.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

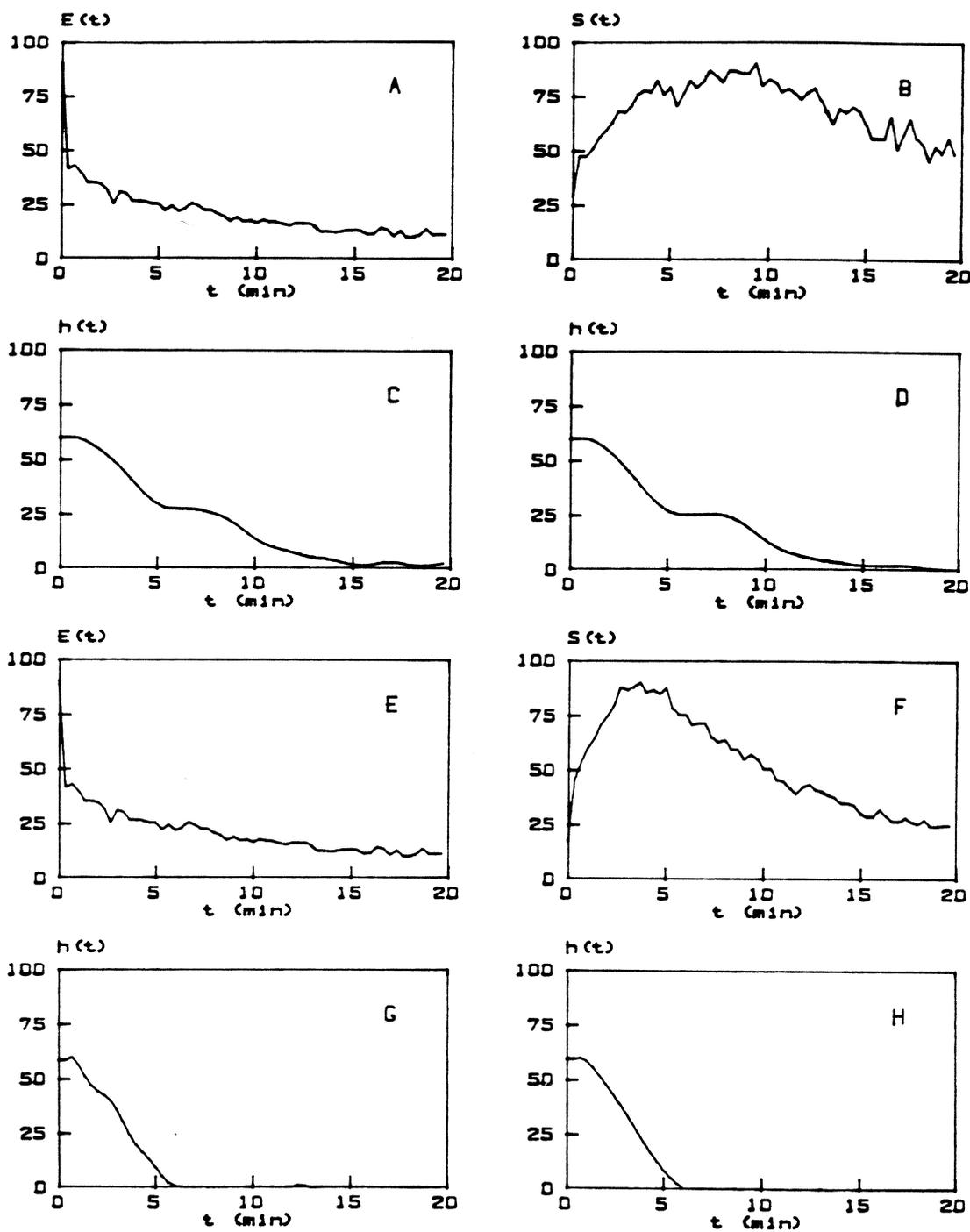


Figura 4.39. Paciente 35.

(A) Curva de aclaramiento plasmático, (B) Renograma correspondiente al primer riñón, (C) FRR calculada mediante FTP, (D) FRR calculada mediante FB, (E) Curva de aclaramiento plasmático, (F) Renograma correspondiente al segundo riñón, (G) FRR calculada mediante FTP, (H) FRR calculada mediante FB.

#### 4.1.3.2. Obtención de los parámetros

Los valores de los parámetros derivados de las FRR obtenidas utilizando el algoritmo iterativo y el filtro de tres puntos (FTP) optimizado, así como los obtenidos al aplicar el algoritmo iterativo y el filtro de Butterworth (FB) optimizado, se muestran en la tabla 4.I. Aparecen también los valores de los parámetros obtenidos directamente del renograma que serán objeto de comparación con los derivados de la FRR posteriormente. En la tabla se identifica el número de paciente con CE, que corresponde a la curva de aclaramiento plasmático. El número de renograma, RE, corresponde a cada riñón. Los parámetros obtenidos del renograma son: el tiempo en el máximo de actividad (TM), el área hasta dos tercios del tiempo en el máximo ( $A_{2/3}$ ) y la función renal relativa estimada a partir de  $A_{2/3}$  ( $fr_R$ ). Los parámetros derivados de la FRR calculados con ambos métodos de filtrado son: el valor de la FRR para  $t=0$  para el FTP ( $A_s$ ), y para el FB (A); el tiempo de tránsito intrarrenal para el FTP ( $C_s$ ) y para el FB (C); el parámetro B para el FTP ( $B_s$ ) y para el FB (B) y la función renal relativa estimada a partir de la altura de la FRR para el FTP ( $fr_s$ ) y para el FB (fr).

CE	RE	TM	$A_{2/3}$	$fr_R$	$A_S$ $\times 10^{-3}$	$fr_S$	$B_S$	$C_S$	$A$ $\times 10^{-3}$	$fr$	B	C
1	1	260	3741	51	6.4	53	4.4	236	6.5	53	4.6	237
1	2	240	3944		7.1		3.9	216	7.3		4.0	212
2	1	360	5791	59	2.8	52	4.1	245	2.9	51	4.4	244
2	2	240	4075		3.0		4.8	183	3.0		5.6	188
3	1	200	2277	51	2.8	51	9.1	200	3.0	50	12.4	204
3	2	200	2202		2.9		9.1	211	3.0		9.5	211
4	1	400	9310	72	9.5	74	2.9	240	9.8	72	3.0	235
4	2	640	3562		3.3		1.6	351	3.8		1.6	287
5	1	160	2481	57	9.4	58	6.9	186	9.5	58	7.7	182
5	2	260	1906		6.7		8.0	244	6.8		9.6	240
6	1	160	1711	52	8.3	52	6.6	186	8.5	52	6.9	185
6	2	220	1571		7.7		7.0	218	7.9		7.1	217
7	1	220	2618	50	16.0	58	9.3	201	17.0	55	8.9	192
7	2	240	2580		22.0		3.1	152	21.0		3.7	168
8	1	180	1733	52	22.0	51	4.4	130	22.0	50	4.8	130
8	2	220	1624		23.0		3.6	136	22.0		4.6	153
9	1	320	3828	59	18.0	62	11.6	316	18.0	60	12.6	322
9	2	480	2648		12.0		10.0	420	12.0		12.9	427
10	1	320	2151	50	6.9	67	0.8	345	5.5	72	5.0	319
10	2	320	2151		14.0		3.2	195	14.0		3.3	196
11	1	200	1811	51	6.2	68	16.7	173	9.5	61	9.1	164
11	2	220	1905		13.0		4.4	139	15.0		5.4	147
12	1	320	1786	58	2.8	58	3.3	283	2.8	58	3.6	276
12	2	380	1311		2.0		2.4	307	2.0		2.9	302
13	1	160	1086	62	6.6	59	3.8	135	6.9	59	3.9	129
13	2	160	1746		9.4		7.7	147	9.8		7.9	144
14	1	260	2193	53	4.6	50	5.6	245	4.7	50	5.5	241
14	2	240	1940		4.6		4.4	223	4.7		4.5	223
15	1	200	2944	85	17.0	85	4.9	168	18.0	86	4.9	164
15	2	540	524		2.7		1.5	192	2.9		1.6	181
16	1	140	997	53	6.3	52	4.7	149	6.6	51	4.6	144
16	2	160	1119		6.8		6.3	170	7.0		6.4	168
17	1	240	1683	65	3.5	70	7.1	212	3.7	67	7.5	208
17	2	260	3136		7.9		4.0	177	7.6		5.0	188
18	1	380	9218	57	12.0	57	4.9	341	12.0	52	4.9	336
18	2	360	6903		9.0		2.6	308	11.0		1.4	365
19	1	280	1412	51	5.3	56	3.3	217	5.2	55	3.5	221
19	2	240	1462		6.7		2.5	146	6.3		3.0	159
20	1	160	2040	55	5.8	51	8.1	170	6.0	53	8.9	169
20	2	180	1642		5.6		1.3	265	5.6		1.5	229
21	1	280	2442	54	4.7	52	7.4	290	4.7	52	7.7	289
21	2	320	2064		4.3		14.7	328	4.4		16.1	328
22	1	360	10168	50	25.0	51	4.1	279	26.0	51	4.0	271
22	2	520	10155		24.0		2.4	357	25.0		2.3	340

Cont.

CE	RE	TM	$A_{2/3}$	$fr_R$	$A_S$ $\times 10^{-3}$	$fr_S$	$B_S$	$C_S$	$A$ $\times 10^{-3}$	$fr$	B	C
23	1	300	3180	61	5.9	54	7.1	282	6.1	55	7.2	277
23	2	420	2076		5.0		2.8	222	5.0		3.7	210
24	1	160	1731	51	11.0	50	8.1	162	12.0	50	8.1	160
24	2	360	1807		11.0		5.0	339	12.0		4.0	346
25	1	220	2533	69	11.0	69	3.0	201	11.0	69	2.6	212
25	2	240	5534		25.0		3.4	184	25.0		3.6	186
26	1	540	2405	74	4.7	78	2.6	344	5.4	75	1.6	379
26	2	240	7013		18.0		4.3	227	18.0		4.5	227
27	1	680	4501	58	25.0	54	1.9	326	31.0	61	1.6	243
27	2	220	3298		21.0		4.6	194	20.0		5.3	199
28	1	240	3332	51	18.0	50	5.8	219	19.0	51	6.0	220
28	2	240	3468		18.0		6.5	221	18.0		5.8	223
29	1	160	2349	50	24.0	50	6.1	154	25.0	50	6.2	151
29	2	160	2349		24.0		6.1	154	25.0		6.2	151
30	1	160	3829	61	12.0	63	8.9	177	12.0	64	9.3	176
30	2	300	2420		7.1		2.4	212	6.8		3.0	220
31	1	280	3377	66	6.6	63	7.9	264	6.7	66	9.1	263
31	2	300	1738		3.8		1.7	266	3.5		2.0	295
32	1	380	6161	62	9.4	60	7.5	363	9.5	61	7.7	367
32	2	420	3710		6.2		2.1	329	6.1		3.0	336
33	1	320	3216	50	9.7	51	2.1	204	9.7	50	1.6	241
33	2	360	3240		9.9		2.4	227	9.7		2.6	238
34	1	260	2669	59	6.4	56	13.4	255	6.6	56	12.2	257
34	2	280	1875		5.1		11.0	269	5.2		10.5	264
35	1	540	2744	73	6.1	79	2.5	355	6.4	78	2.4	329
35	2	240	7323		22.0		5.0	222	23.0		4.5	224

Tabla 4.I. Valores de los parámetros derivados de la FRR obtenidos al aplicar los dos métodos de filtrado lineal, y de los parámetros obtenidos del renograma en estudios con  $^{131}\text{I}$ -Hippuran.

CE: Curva de aclaramiento plasmático  
RE: Renograma  
TM: Tiempo en el máximo de actividad en el renograma (s)  
 $A_{2/3}$ : Area bajo el renograma hasta 2/3 del TM  
 $fr_R$ : Función renal relativa en % estimada a partir de  $A_{2/3}$   
 $A_S$ : Valor de la FRR para  $t=0$  calculado con el FTP ( $s^{-1}$ )  
 $fr_S$ : Función renal relativa en % estimada a partir de la altura de la FRR  
 $B_S$ : Parámetro B calculado con el FTP  
 $C_S$ : Tiempo de tránsito intrarrenal calculado con el FTP (s)  
A: Valor de la FRR para  $t=0$  calculado con el FB ( $s^{-1}$ )  
 $fr$ : Función renal relativa en % estimada a partir de la altura de la FRR  
B: Parámetro B calculado con el FB  
C: Tiempo de tránsito intrarrenal calculado con el FB (s)

#### 4.1.4. Discusión

Los resultados presentados en las figuras 4.5 a 4.39, muestran que, en general, la morfología de la FRR calculada con los filtros de tres puntos y el filtro de Butterworth son análogas (González et al., 1989). Los parámetros función renal relativa y tiempo de tránsito intrarrenal obtenidos por los 2 métodos de filtrado tienen prácticamente los mismos valores, tal como se observa en la tabla 4.I.

La comparación entre la función renal relativa obtenida mediante el filtro de tres puntos y la obtenida mediante el filtro de Butterworth, se efectuó mediante regresión lineal siendo el coeficiente de correlación  $r$  de 0.97, y los parámetros de la recta de regresión  $a=0.97$  y  $b=1.63$  (Figura 4.40). Este alto índice de correlación, y el hecho de que la pendiente de la recta de regresión sea prácticamente igual a uno, así como que el parámetro  $b$  de la recta tenga el valor de 1.63, confirman que ambos métodos determinan este parámetro de manera similar en estudios reales.

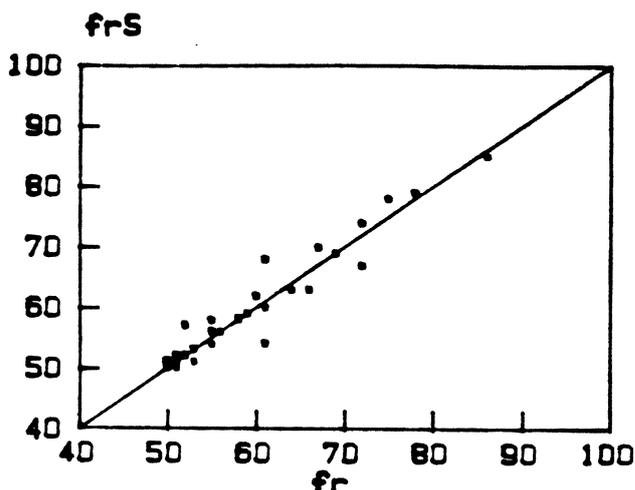


Figura 4.40. Comparación entre la función renal relativa ( $fr_s$ ) obtenida por aplicación del filtro de tres puntos y la función renal relativa obtenida mediante el filtro de Butterworth ( $fr$ ).

La comparación de los valores medios de la función renal relativa, para los distintos pacientes, muestra para los dos filtros el mismo valor de 59%. Al efectuar la prueba de la  $t$  de Student para datos apareados se obtiene un valor de  $t$  igual a  $-0.68$ , que indica que no existen diferencias significativas entre los valores de la función renal relativa para los dos métodos.

Para la comparación entre el tiempo de tránsito intrarrenal obtenido por aplicación del filtro de tres puntos y el obtenido mediante el filtro de Butterworth, el coeficiente de correlación  $r$  fue también de  $0.97$ . El valor de la pendiente de la recta era igual a  $1.01$  y el valor de la ordenada en el origen, prácticamente igual a  $-0.42$ . En la figura 4.41, se observan algunos casos que se apartan de la recta de identidad que corresponden a las FRR halladas para

los pacientes 4, 26, 27, cuyas funciones de retención renales aparecen en las figuras 4.8, 4.30, 4.31. Estos casos corresponden a riñones con grados de obstrucción por encima de los valores utilizados durante el proceso de simulación (500 segundos). Al hallar las FRR en estos casos aparece una morfología diferente, de tipo bimodal, en las que la determinación del tiempo de tránsito intrarrenal es más crítica.

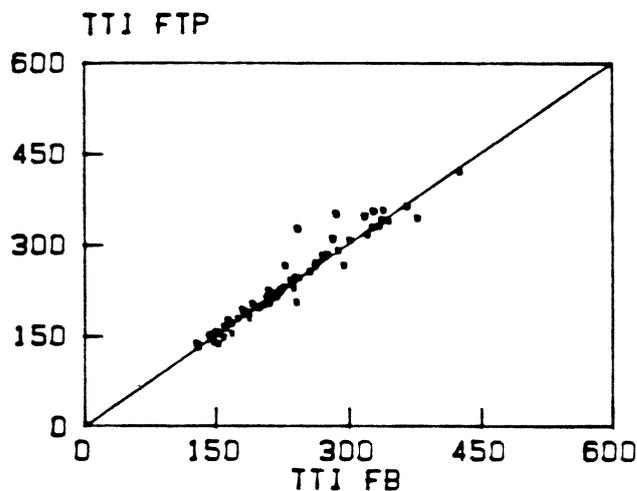


Figura 4.41. Comparación entre TTI obtenido utilizando el filtro de tres puntos y TTI obtenido mediante el filtro de Butterworth.

Los valores medios del tiempo de tránsito intrarrenal (TTI), del conjunto de pacientes, presentan una diferencia de 4 segundos. Así el obtenido con filtro de tres puntos es de 234 segundos, y el obtenido con el filtro de Butterworth es de 230 segundos. En la prueba de la  $t$  de Student para

datos apareados el valor de la  $t$  es igual  $-0.05$ , lo que indica que no existen diferencias significativas en el valor del TTI determinado con ambos metodos.

Respecto al parámetro  $B$ , que refleja la dispersión del tiempo de tránsito intrarrenal, los valores medios obtenidos fueron de  $5.5$  para el filtro de tres puntos y  $5.6$  para el filtro de Butterworth.

Así pues, el cálculo de parámetros sobre la FRR da resultados estadísticamente equivalentes al utilizar el filtro de tres puntos y el filtro de Butterworth. El algoritmo que incluye el filtro de tres puntos aparece como una alternativa a utilizar (González et al., 1988) debido a su amplia difusión si bien como ya se mostró en el capítulo de simulación presenta unos valores de los errores mayores que el filtro de Butterworth.

## 4.2. Comparación entre los parámetros derivados de la función de retención renal y los parámetros obtenidos directamente del renograma

### 4.2.1. Introducción

Una vez comprobada la invariancia de los parámetros utilizados en la modelización de la FRR, y efectuada la comparación de los parámetros A y TTI obtenidos por los dos métodos de filtrado lineal, se estudió la relación existente entre los parámetros función renal relativa y tiempo de tránsito intrarrenal derivados de la FRR y los parámetros función renal relativa y tiempo en el máximo de actividad obtenidos directamente del renograma.

Clínicamente la estimación de los parámetros se realiza directamente sobre el renograma. Aquí, se pretende valorar el grado de correlación existente entre las estimas realizadas sobre el renograma y las realizadas sobre la FRR. Para efectuar esta comparación se utilizaron los resultados obtenidos aplicando el filtro de Butterworth optimizado.

Antes de efectuar la comparación, veamos la relación teórica existente entre las estimas de la función renal relativa y tiempo de tránsito renal realizadas sobre la FRR y sobre el renograma.

### Función renal relativa

En la zona plana de la función de retención renal en que  $h_1=h_2=h_3=\dots h_k$ , la componente exclusivamente renal del renograma es:

$$s_1 = h_1 e_1 \delta t$$

$$s_2 = h_2 e_1 \delta t + h_1 e_2 \delta t = h_1 \delta t (e_1 + e_2)$$

$$s_3 = h_3 e_1 \delta t + h_2 e_2 \delta t + h_1 e_3 \delta t = h_1 \delta t (e_1 + e_2 + e_3)$$

...

$$s_k = h_1 \delta t \sum_{j=1}^k e_j$$

El renograma real, contiene la componente renal y una componente extrarrenal, constituida por una parte vascular y otra extravascular. Si representamos esta actividad como  $b_k$ , el valor del renograma para el riñón 1 en el punto k será:

$$S_k^1 = h_1^1 \delta t \sum_{j=1}^k e_j + b_k^1$$

y para el riñón 2:

$$S_k^2 = h_1^2 \delta t \sum_{j=1}^k e_j + b_k^2$$

La expresión de la función renal relativa (fr) es:

$$fr = \frac{h_1^1}{h_1^1 + h_1^2} \times 100$$

Si efectuamos el cociente:

$$\frac{S_{k^1}}{S_{k^1} + S_{k^2}} = \frac{h_1^1 \sum_{j=1}^k E_j + b_{k^1}}{h_1^1 \sum_{j=1}^k E_j + b_{k^1} + h_1^2 \sum_{j=1}^k E_j + b_{k^2}}$$

Si no existe actividad extrarrenal,  $b_{k^1}=b_{k^2}=0$ , puede comprobarse que

$$\frac{S_{k^1}}{S_{k^1} + S_{k^2}} = \frac{h_1^1}{h_1^1 + h_1^2}$$

De aquí se deduce que puede efectuarse una estima correcta de la función renal directamente sobre el renograma corregido de actividad extrarrenal, siempre que el índice k no exceda la meseta de la FRR.

Puesto que los puntos del renograma están sometidos a la estadística de la desintegración, la precisión de la estima dependerá de la relación señal/ruido. Para mejorar la

fiabilidad del resultado, el cálculo de la función relativa se efectúa a partir de la suma de la actividad sobre varios puntos, esto es, calculando el área bajo la curva correspondiente al renograma hasta un tiempo k. Si cambiamos  $e_j$  y  $s_j$  por  $E_j$  y  $S_j$  para indicar los valores con ruido, el resultado es:

$$\sum_{j=1}^k S_j^1 = \sum_{j=1}^k (h_1^1 \sum_{m=1}^j E_m) + \sum_{m=1}^k b_m^1 = h_1^1 \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^j E_m + \sum_{m=1}^k b_m^1$$

$$\sum_{j=1}^k S_j^2 = \sum_{j=1}^k (h_1^2 \sum_{m=1}^j E_m) + \sum_{m=1}^k b_m^2 = h_1^2 \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^j E_m + \sum_{m=1}^k b_m^2$$

$$\frac{\sum_{j=1}^k S_j^1}{\sum_{j=1}^k S_j^1 + \sum_{j=1}^k S_j^2} = \frac{h_1^1 \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^j E_m + \sum_{m=1}^k b_m^1}{h_1^1 \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^j E_m + \sum_{m=1}^k b_m^1 + h_1^2 \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^j E_m + \sum_{m=1}^k b_m^2}$$

Si el renograma está corregido de actividad extrarrenal

$$\sum_{m=1}^k b_m^1 = \sum_{m=1}^k b_m^2 = 0$$

y por tanto

$$\frac{\sum_{j=1}^k S_j^1}{\sum_{j=1}^k S_j^1 + \sum_{j=1}^k S_j^2} = \frac{h_1^1}{h_1^1 + h_1^2}$$

Así, la estima de la función renal relativa (fr) puede efectuarse sobre el renograma siempre que esté corregido de actividad extrarrenal y que el límite  $k$  del sumatorio asegure que la función de retención renal es todavía plana. En la práctica clínica  $k$  se toma como dos terceras partes del tiempo en el que se produce el máximo de actividad.

Si no hay corrección de la actividad extrarrenal existe un error en la estima de la función relativa a partir del renograma. Este error es mayor cuanto más diferentes sean las funciones individuales, es decir, cuanto más se aparte la función relativa de 0.5.

Si bien se puede efectuar una corrección del renograma de la actividad extravascular, siempre queda la actividad vascular superpuesta, por lo que es obvio que existirá error. Pretendemos ver si la magnitud de este error es importante.

### Tiempo de tránsito renal

Como se ha visto anteriormente, al convolucionar la entrada con la FRR, para  $\delta t=1$ , se obtiene

$$s_1 = e_1 h_1 \delta t$$

$$s_2 = e_1 h_2 \delta t + e_2 h_1 \delta t$$

$$s_3 = e_1 h_3 \delta t + e_2 h_2 \delta t + e_3 h_1 \delta t$$

...

siendo la expresión general

$$s_k = \sum_{j=1}^k h_j e_{k-j+1} \delta t$$

Para ver donde está situado el máximo debe efectuarse la derivada y ver el punto en que se hace cero. La derivada en este caso es una aproximación digital de la derivada analítica. Se calcula mediante la diferencia:

$$D_2 = s_2 - s_1 = h_1(e_2 - e_1) \delta t + h_2 e_1 \delta t$$

$$D_3 = s_3 - s_2 = h_1(e_3 - e_2) \delta t + h_2(e_2 - e_1) \delta t + h_3 e_1 \delta t$$

...

cuya expresión general es

$$D_k = s_k - s_{k-1} = \sum_{j=1}^{k-1} h_j (e_{k-j+1} - e_{k-j}) + h_k e_1 \delta t$$

En la expresión de  $D_x$  el término  $h_x e_1$  es mayor que cero, mientras que los términos del sumatorio  $e_{x-j+1} - e_{x-j}$  son menores que cero al ser el renograma creciente en el primer tramo. Según esto, el máximo no puede estar nunca más lejos que el tiempo en que se acaba la respuesta impulsional. Así, por ejemplo, si la respuesta impulsional está limitada a  $t_5$  de manera que en  $t_6$  la  $h_6$  es igual a cero, la  $D_6$  es menor que cero, ya que todas las contribuciones son negativas. Por tanto la derivada que inicialmente era positiva, cambia de signo, indicando que se ha pasado el máximo. Así pues, el máximo está entre cero y el punto en que la función de retención cae nuevamente a cero. Si no hay dispersión de tiempos de tránsito este punto es el tiempo de tránsito intrarrenal y el tiempo al máximo coincide con él.

#### 4.2.2. Material y métodos

Con la misma población utilizada en el apartado anterior (35 curvas de aclaramiento plasmático y 70 renogramas), y una vez obtenidas las correspondientes funciones de retención renal aplicando el filtro de Butterworth optimizado, se procedió a comparar los parámetros derivados de la FRR con los obtenidos del renograma.

Los parámetros derivados de la FRR fueron la función renal relativa ( $h_1^1/(h_1^1+h_1^2)$ ) y el tiempo de tránsito intrarrenal (TTI). La estima de la función renal relativa directamente del renograma se obtuvo a partir del área hasta los dos tercios del tiempo en el máximo ( $A_{2/3}$ ), según la relación entre el valor de una área y la suma de las dos  $(A_{2/3})_1/[(A_{2/3})_1+(A_{2/3})_2]$ . Como criterio para valorar el grado de simetría de la función renal, se tomaron siempre valores superiores al 50%, de modo que si el valor era inferior se tomaba el complementario a 100. El tiempo en el máximo del renograma (TM) se tomó como índice del tiempo de tránsito renal. Para efectuar el cálculo del tiempo en el máximo se realizaron tres suavizados con un filtro de tres puntos en el renograma, de acuerdo con el protocolo utilizado en la práctica clínica.

La comparación se efectuó mediante regresión lineal. El número de puntos fue 64 y el intervalo de digitalización de 20 segundos.

#### 4.2.3. Resultados

##### 4.2.3.1. Comparación entre las estimas de la función renal relativa

En la figura 4.42 se muestra la comparación efectuada

entre el parámetro correspondiente a la función renal relativa calculado sobre el renograma y el calculado a partir de la FRR. El coeficiente de correlación  $r$  fue de 0.85, siendo los parámetros de la recta de regresión  $a = 0.77$  y  $b = 12.63$ . Los valores obtenidos de la función relativa de cada riñón con ambos parámetros muestra que la mayor parte de los casos se concentra en el intervalo comprendido entre 50% y 60%. Esto indica que la población analizada era básicamente normal respecto a este parámetro, ya que se considera una función renal normal y simétrica si el valor de la función renal relativa en porcentaje no excede el 55% (Tauxe et al., 1980). Otros autores admiten un porcentaje de hasta el 60% (Piepsz et al., 1982).

La comparación de los valores medios de la función renal relativa, determinada sobre el renograma y a partir de la FRR, muestra unos valores prácticamente iguales. Así, para el parámetro determinado sobre el renograma resulta un valor medio de 58%, y para el parámetro derivado de la FRR el valor medio es de 59%.

Se observa también que en dos casos la función renal relativa ( $fr$ ) discrepa notablemente según se considere en la FRR o en el renograma. En ambos casos el valor obtenido sobre el renograma es ligeramente superior al 50%, mientras el derivado de la FRR supera el 70% en uno de ellos, y en el otro se obtiene un valor de más de un 60%.

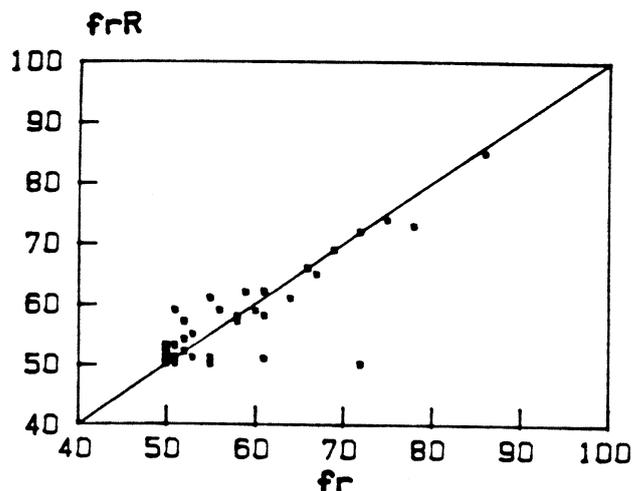


Figura 4.42. Comparación entre los parámetros  $fr_R$  y  $fr$  calculado con el filtro de Butterworth optimizado.

#### 4.2.3.2. Comparación entre las estimas del tiempo de tránsito

La comparación entre el tiempo al máximo (TM) del renograma y el tiempo de tránsito (TTI) obtenido a partir de la FRR, utilizando el filtro de Butterworth optimizado, se realizó mediante regresión lineal. El coeficiente de correlación  $r$  fue de 0.67, con los parámetros de la recta de regresión  $a = 1.19$  y  $b = 11.16$ . Se observa poca correlación, mostrando la pendiente de la recta de regresión un valor mayor que uno, lo que indica una sobrevaloración del tiempo de tránsito renal por parte del TM en relación al TTI obtenido, sobre todo para los tiempos de tránsito más largos. El valor del parámetro  $b$  indica también esta sobrevaloración a lo largo de todos los

tiempos de tránsito.

En los renogramas con TM elevado (por encima de 500 segundos), se observa una gran sobrevaloración de dicho parámetro en relación al TTI, lo que indica que en estos casos la estima del tiempo de tránsito como tiempo en el instante de máxima actividad en el renograma es errónea. En la figura 4.43, se muestran 4 casos que superan los 500 segundos que corresponden a los pacientes 15 (540 s), 22 (520 s), 26 (540 s), y 35 (540 s).

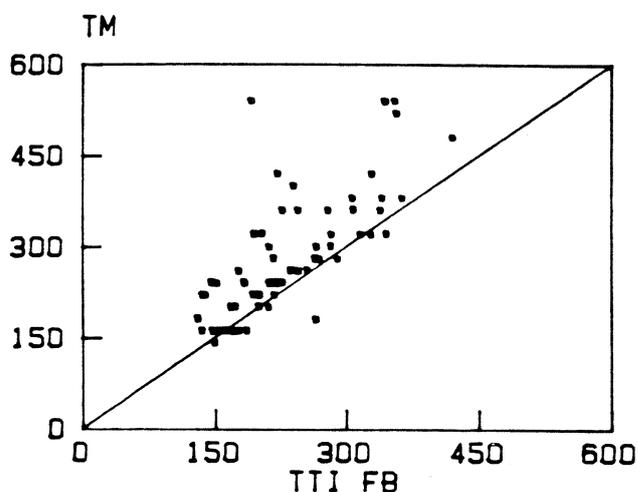


Figura 4.43. Comparación entre los parámetros TM y TTI calculado con el filtro de Butterworth optimizado.

Los 6 casos que superan los 500 segundos presentan anomalías de tipo obstructivo lo que provoca una mala determinación del TM, ya que en lugar de observarse un máximo con claridad aparece una meseta con un valor máximo prácticamente igual al de los puntos vecinos.

La comparación de los valores medios del tiempo de tránsito, determinado sobre el renograma y en la FRR, presenta una diferencia de 60 segundos. El valor promedio del conjunto de la población correspondiente al TM es de 290 segundos y el valor medio del TTI es de 230 segundos.

En la figura 4.44, se muestra la distribución de los tiempos de tránsito para el  $^{131}\text{I}$ -Hippuran. En el eje de abscisas aparecen los distintos valores de tiempo de tránsito agrupados cada 60 segundos a partir de 140 segundos hasta 560 segundos. En el eje de ordenadas aparece el número de casos en cada intervalo de tiempo. En este caso no se observa la presencia de tiempos de tránsito por encima de los 440 segundos en los TTI determinados en la FRR. Para la estima efectuada mediante el TM aparecen tiempos de tránsito muy largos por encima de los 500 segundos, lo que es consecuente con la sobrevaloración del TM en relación al TTI sobre todo para los tiempos de tránsito muy largos. Las dos distribuciones se parecen, si bien en la correspondiente a los TTI se observa un desplazamiento hacia tiempos de tránsito más cortos que en la de TM, como sugiere el valor medio de ambas distribuciones: 230 segundos para el TTI y 290 segundos para el TM.

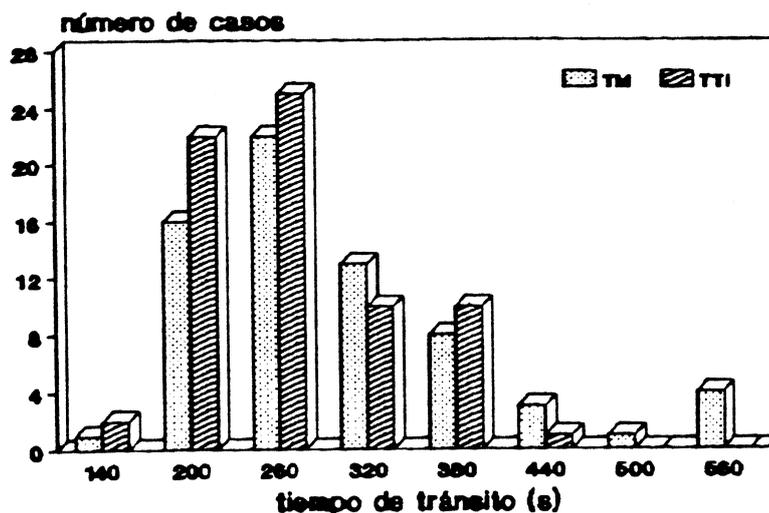


Figura 4.44. Histograma que muestra la distribución de los tiempos de tránsito intrarrenal determinados en la FRR y en el renograma. Trazador:  $^{131}\text{I}$ -Hippuran.

#### 4.2.4. Discusión

##### 4.2.4.1. Valoración de la comparación de las funciones renales relativas

El estudio de las 35 funciones renales relativas correspondiente a los 35 pacientes, mostró un coeficiente de correlación  $r$  de 0.85. La determinación de la función renal relativa realizada con ambos parámetros, concentra los valores, en la mayor parte de los casos en un intervalo, considerado de normalidad, situado entre el 50 y 60 %, esto ocasionó que unos pocos casos correspondientes a funciones renales claramente fuera de los márgenes de normalidad produzcan un valor del parámetro  $a$  de la recta de regresión por debajo de uno ( $a = 0.77$ ). Además el hecho de que en dos

casos correspondientes a los pacientes 10 y 11 se obtuviese una determinación del porcentaje muy dispar contribuyó a este valor del parámetro. Así, para el paciente 10 el porcentaje estimado a partir del renograma fue del 50% en tanto el estimado de la FRR fue del 72%, para el paciente 11 fue de 51% y 61% respectivamente.

Al realizar la prueba de la  $t$  de Student considerando los datos apareados el valor de la  $t$  fue de  $-0.74$ , lo que indica que las diferencias entre ambos parámetros no son significativas.

#### 4.2.4.2. Valoración de la comparación del tiempo de tránsito

En la figura 4.43 se observa que la gran mayoría de puntos están situados por encima de la recta de identidad. Este hecho indica claramente una sobrevaloración en la estimación del tiempo de tránsito intrarrenal a partir del tiempo al máximo del renograma.

Con el fin de descartar cualquier posible error en esta valoración de la sobreestimación de tiempo de tránsito por parte del TM producida en los estudios reales, se procedió a efectuar la comparación entre el TM y el TTI. Para tal fin, y siguiendo la metodología descrita en el apartado 3.2 del capítulo de simulación, se generaron 560

renogramas en los que se determinó el parámetro TM, comparando sus valores con los de TTI derivados de la FRR mediante regresión lineal. En la figura 4.45 se muestra esta comparación cuyo coeficiente de correlación  $r$  fue de 0.98, con un parámetro  $a = 0.97$  y  $b = 39.55$ .

Los valores anteriores confirman esta sobrevaloración, si bien en este caso es homogénea a lo largo de todos los tiempos de tránsito. El coeficiente de variación utilizado (CV) fue del 30% para los distintos tiempos de tránsito.

La comparación de los diferentes valores de TM y de TTI, dos a dos, se realizó mediante la prueba de la  $t$  de Student para datos apareados. El valor de la  $t$  fue de 5.28, y el de la  $p$  fue menor 0.01. Estos valores muestran la existencia de diferencias significativas entre los valores de los parámetros TM y TTI. Al ser el valor de  $p$  menor de 0.01 indica que es claramente significativo.

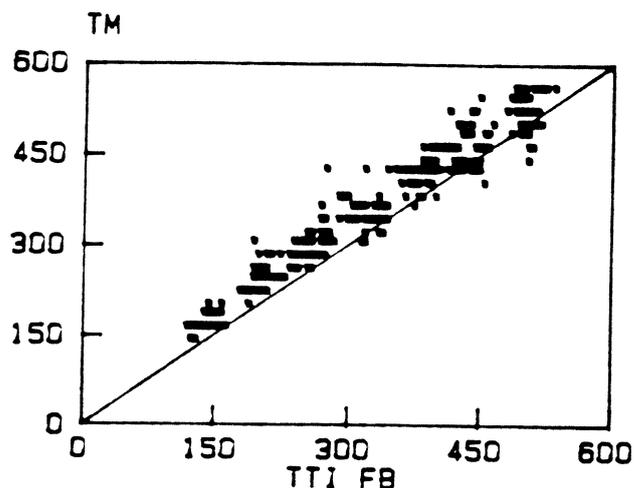


Figura 4.45. Comparación entre TM y TTI obtenido por aplicación del filtro de Butterworth en una población de renogramas simulados. Trazador:  $^{131}\text{I}$ -Hippuran. (TM y TTI en segundos).

El análisis de los posibles factores responsables de la sobrevaloración, nos permitió determinar como factores con mayor influencia las constantes de tiempo de las exponenciales de la curva de aclaramiento plasmático, y la dispersión de tiempos de tránsito intrarrenal. El análisis de estos factores se realizó individualmente y en conjunto con el fin de determinar su grado de participación.

#### Curva de entrada

Al valorar el papel desempeñado en la sobrevaloración por las dos exponenciales de la curva de aclaramiento

plasmático, se consideraron dos situaciones, según existiese dispersión del tiempo de tránsito o no. En el caso de no haber dispersión del tiempo de tránsito, el TM nunca puede ser mayor que el TTI. La razón es que en este caso el TTI coincide con el tiempo en que termina la respuesta impulsional, y como ya se vió en el apartado 4.2.1., el TM no puede superar este tiempo.

Si existe dispersión en los tiempos de tránsito, se observó que si la constante de tiempo de la primera exponencial aumenta, disminuye el TM, y si disminuye, aumenta el TM. La segunda exponencial y el peso de las exponenciales tienen poca influencia. Así pues, el valor de la constante de tiempo de las exponenciales, especialmente la primera, tendría influencia en la sobrevaloración del TM. Sin embargo, en los estudios reales esto no es suficiente para explicar la sobrevaloración observada, dado el rango de valores de las constantes de tiempo.

#### Dispersión de tiempos de tránsito

La influencia de la dispersión de tiempos de tránsito se valoró mediante simulación variando el valor del coeficiente de variación de la pendiente de la FRR. Esto se realizó modificando el valor del coeficiente de variación (CV), definido como el cociente entre la desviación estandar

del TTI y el valor medio del TTI, para cada tiempo de tránsito intrarrenal.

Así, para los valores y pesos de las exponenciales de la curva de aclaramiento plasmático de Blaufox, que aparecen en el apartado 3.2.1., se observó que si aumentaba el coeficiente de variación, aumentaba el TM. Si disminuía el coeficiente de variación, también lo hacía el TM.

Esta simulación permitió determinar que el valor del coeficiente de variación es crítico en la sobrevaloración del tiempo en el máximo. Si CV es igual o menor que el 15% el TM coincide con el TTI. Si CV es igual al 30% se observa una sobreestimación de TM en relación a TTI. Esto explica los resultados mostrados en la figura 4.44, donde aparecía esta clara sobrevaloración que se refleja en el valor de la ordenada en el origen ( $b=39.55$ ) obtenida en la regresión lineal.

Así pues, la combinación de los valores de las constantes de tiempo de las exponenciales y del grado de dispersión del TTI, permite explicar la sobrevaloración observada en la estima del tiempo de tránsito a partir del TM. La baja correlación observada en los casos reales (figura 4.43), reflejo de la gran dispersión de valores, parece indicar que el CV es un parámetro muy variable en cualquier población.