

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

5. APLICACION DEL ALGORITMO DE DECONVOLUCION INCLUYENDO
FILTRADO OPTIMIZADO A ESTUDIOS REALES CON ^{99m}Tc-MAG₃

5.1. Obtención de los parámetros derivados de la función de retención renal

5.1.1. Introducción

Como se ha comentado en el capítulo 1, el radiofármaco más utilizado en los últimos años para el estudio de la función tubular ha sido el ^{131}I -Hippuran. Sin embargo, su utilización presenta el problema de la desintegración beta negativa que obliga a inyectar una actividad baja, con lo que las imágenes y las curvas actividad/tiempo tienen una baja relación señal/ruido. Por esta razón, durante años se ha buscado un sustituto de este radiofármaco que estuviese marcado con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ya que su emisión gamma pura permite inyectar mayor actividad, aumentando la relación señal/ruido. Asimismo, las características físicas de este radionúclido lo hacen especialmente indicado para su detección mediante una gammacámara. Después de estudiar distintas moléculas susceptibles de ser marcadas con Tecnecio, en el año 1986, Fritzberg (Fritzberg et al., 1986) presentó el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ como una molécula que tenía las especificaciones requeridas. El $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ y el ^{131}I -Hippuran tienen unas características biológicas similares, (Fritzberg et al., 1986), (Muller-Suur y Muller-Suur, 1986), (Wooten et al., 1986), (Coveney y Robbins, 1987), (Eshima et al., 1987), por lo que este nuevo radiofármaco parecía ser un buen sustituto para el estudio de la función tubular.

Desde su aparición, se han efectuado distintos trabajos de comparación entre ambos trazadores, para ver su utilidad efectiva en el diagnóstico (Taylor et al.,1986), (Taylor et al.,1987), (Taylor et al.,1987), (Taylor et al., 1988), (Jafri et al., 1988),(Nakagawa et al.,1989), (Maini et al., 1989), (Szabó et al.,1989),(Hvid-Jacobsen et al.,1990), (Keske et al.,1990). Los resultados confirman la utilidad de este trazador, por lo que su utilización se va extendiendo en el ámbito de la Medicina Nuclear. En este contexto, nos pareció interesante reproducir el estudio realizado con ^{131}I -Hippuran valorando la utilidad de la deconvolución para la estima de los parámetros representativos de la función renal para el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$. Pretendíamos analizar dos aspectos: 1) cálculo de los parámetros tiempo de tránsito intrarrenal (TTI) y función renal relativa (fr), y 2) comparación de los parámetros obtenidos de la FRR y del renograma para ambos trazadores.

Como se vió en el capítulo 3 de simulación numérica, para el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ los valores del error RMS fueron aproximadamente la mitad de los obtenidos para el ^{131}I -Hippuran. Esto indica una mayor precisión en el cálculo de las FRR si el trazador es $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$. Con la finalidad de comprobar en estudios reales que la mayor actividad inyectada en el caso de administrar $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ en relación al ^{131}I -Hippuran presentaba ventajas al efectuar el proceso de deconvolución, se analizó una población de individuos

normales y pacientes con distintos grados de obstrucción.

El proceso de análisis se efectuó aplicando el algoritmo iterativo y el filtro de Butterworth optimizado a renogramas correspondientes a estudios reales con ^{99m}Tc -MAG3. Se obtuvieron los parámetros derivados de la FRR y se compararon con los parámetros obtenidos directamente del renograma.

5.1.2. Material y métodos

Se estudiaron 35 curvas de aclaramiento plasmático y 70 renogramas correspondientes a 35 pacientes. 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 digital Apex 609R de Elscint con un colimador de media energía. 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. El intervalo de tiempos de tránsito de estos pacientes es amplio e incluye diferentes grados de obstrucción. El área de interés utilizada para efectuar la sustracción de la actividad extrarrenal fue la situada debajo del polo inferior de ambos riñones. El número de puntos utilizado para todas las pruebas fue de 60, con un intervalo de

digitalización de 20 segundos.

En la figura 5.1, se muestra la curva de aclaramiento plasmático y el renograma de un estudio realizado con $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$. En ambas curvas se aprecian valores de actividad más altos que los obtenidos en estudios con $^{131}\text{I-Hippuran}$, por lo que la relación señal/ruido es sensiblemente mayor. Esto es debido a que la relación señal/ruido está relacionada con la actividad del trazador inyectada. Así, para el $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ los valores de actividad están comprendidos entre 1 y 5 mCi, lo que representa más de 10 veces la actividad inyectada para el $^{131}\text{I-Hippuran}$, con lo que la relación señal/ruido estimada como la raíz cuadrada de n , siendo n el número de cuentas, es más de tres veces mayor.

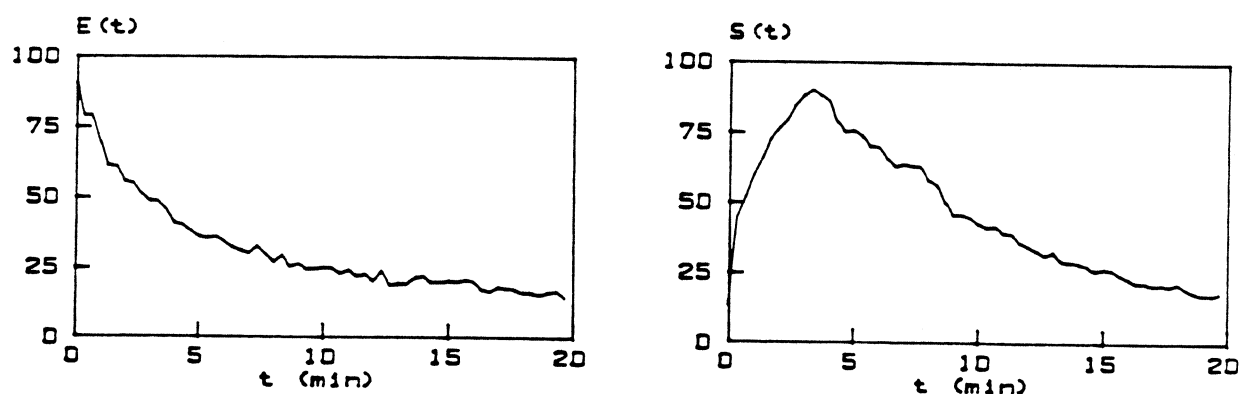


Figura 5.1. Curva de aclaramiento plasmático y renograma. Trazador: $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$.

El método de deconvolución utilizado fue el algoritmo matricial descrito en el capítulo 3. Para el filtrado se

utilizó un filtro de Butterworth optimizado en función del tiempo de tránsito intrarrenal.

Para el $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ la función que proporciona la frecuencia de corte óptima es

$$f_c = 25.5 \exp(-0.1154 (TT/20)) + 3.4$$

siendo TT el tiempo de tránsito en segundos y 20 el intervalo de digitalización en segundos considerado. Se realizó la estima del tiempo de tránsito como el tiempo que corresponde al instante de máxima actividad del renograma. Con este intervalo de digitalización, la actividad extrarrenal afecta a los dos primeros puntos de la FRR en el caso de no haberse corregido el renograma, por consiguiente al efectuar el filtrado a partir del tercer punto aseguramos que no haya contribución vascular y extrarrenal.

5.1.3. Resultados

5.1.3.1. Obtención de las funciones de retención renal

En las figuras 5.2 a 5.36 aparecen las FRR de los 35 pacientes obtenidas mediante deconvolución, aplicando el algoritmo iterativo con el filtro de Butterworth optimizado. En cada una de ellas aparecen: la curva de aclaramiento

plasmático, la curva de salida del sistema correspondiente al primer riñón y la FRR calculada; y el renograma del segundo riñón y la correspondiente FRR calculada. 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.

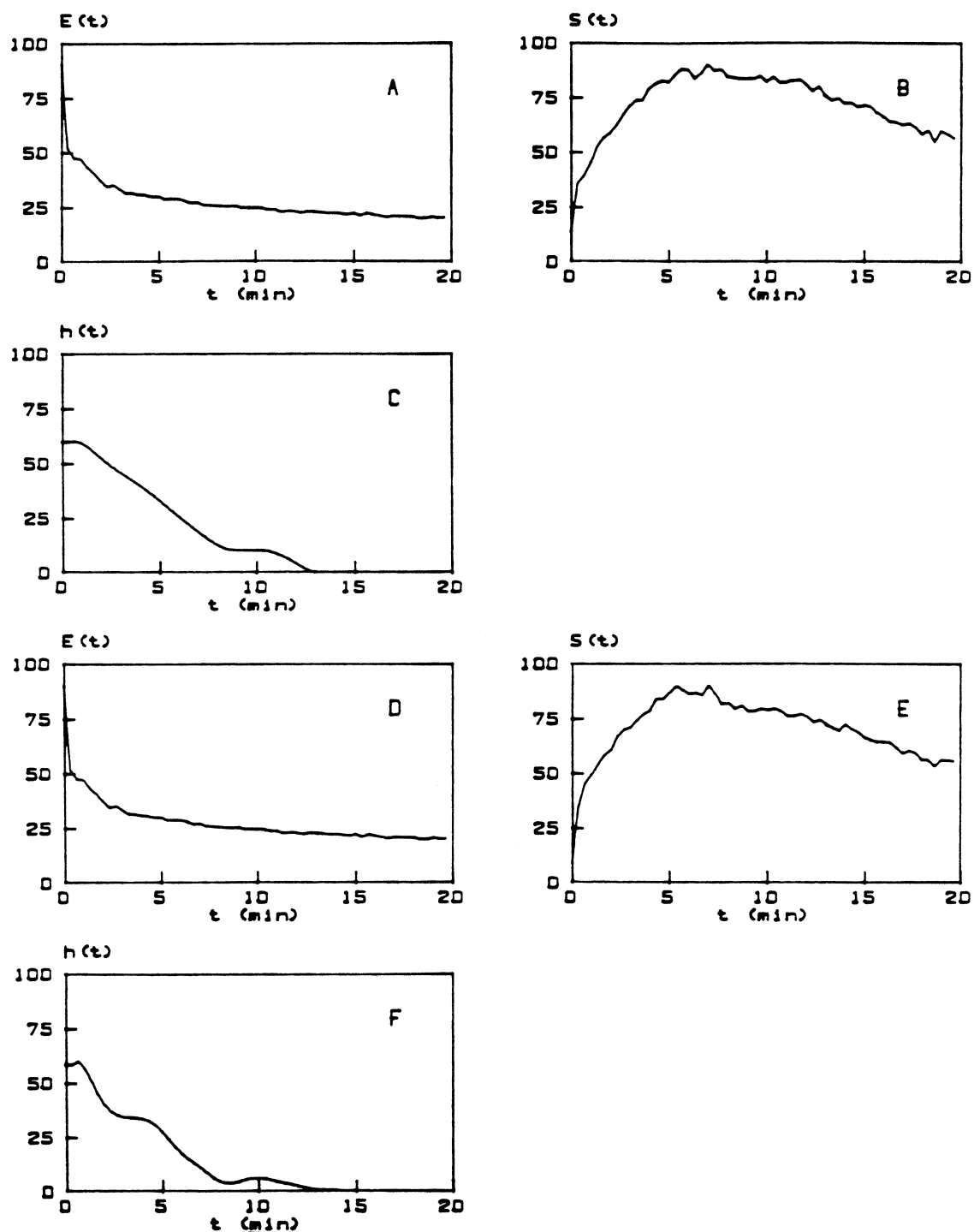


Figura 5.2. Paciente 1.

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

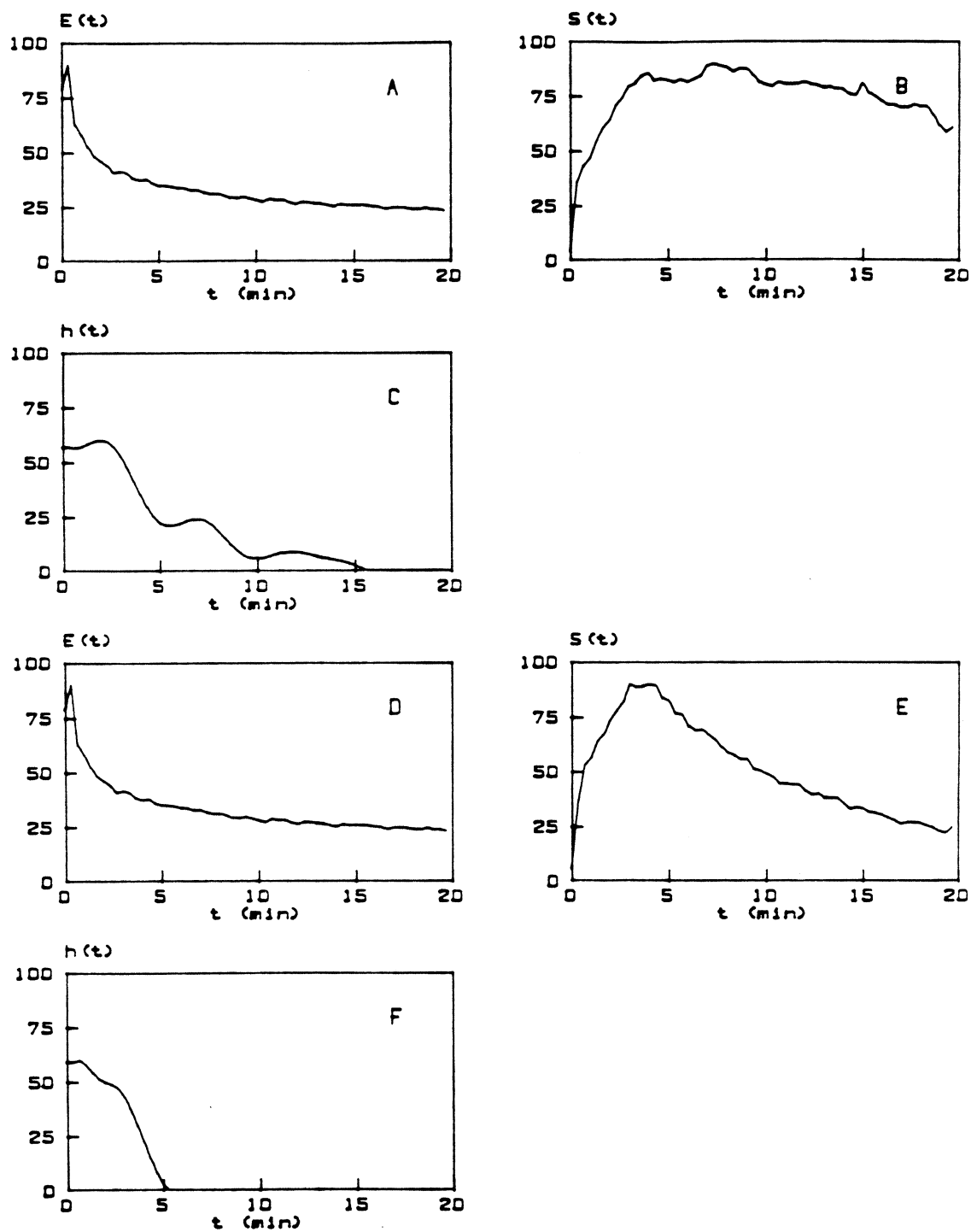


Figura 5.3. Paciente 2.

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

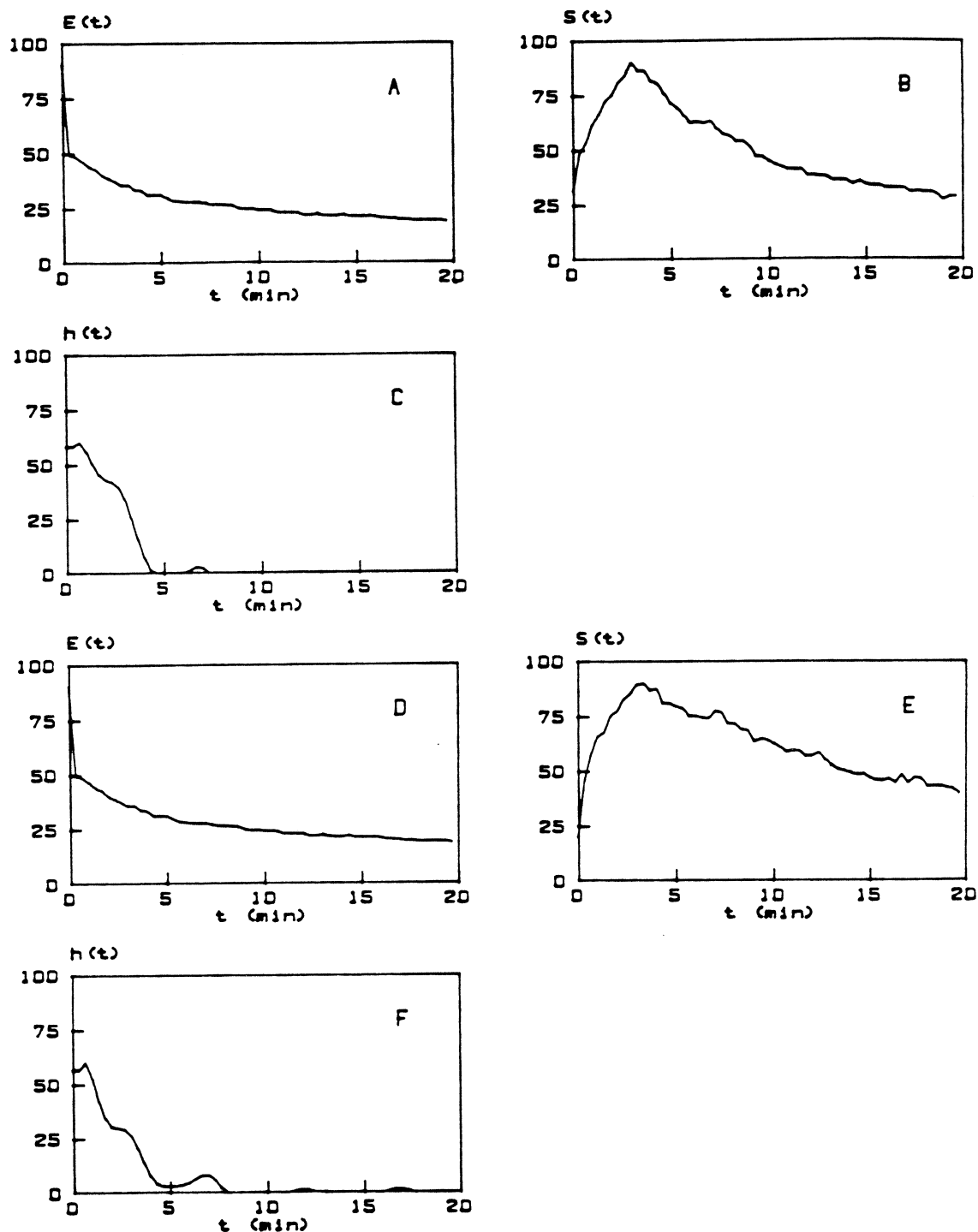


Figura 5.4. Paciente 3.

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

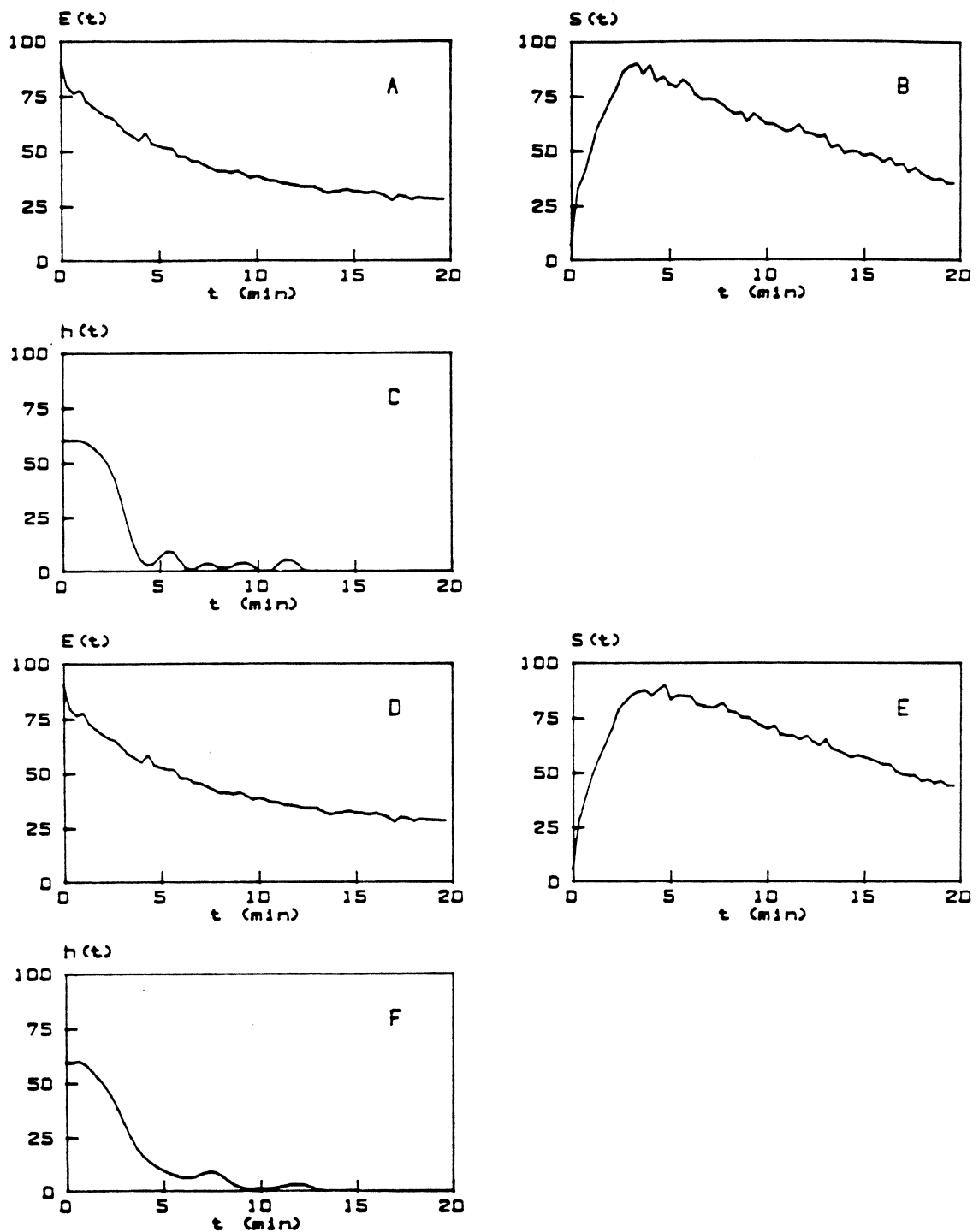


Figura 5.5. Paciente 4.

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

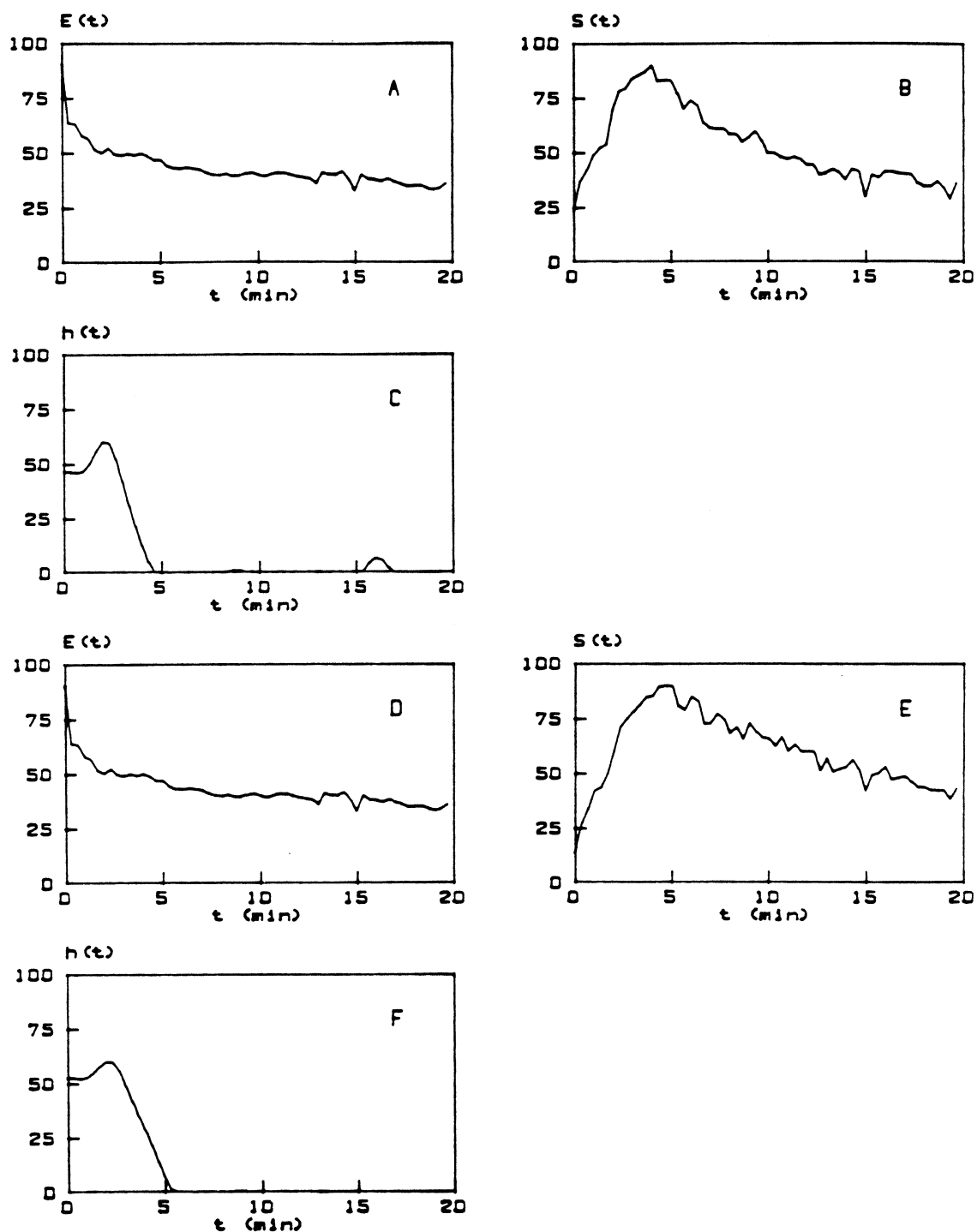


Figura 5.6. Paciente 5.

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

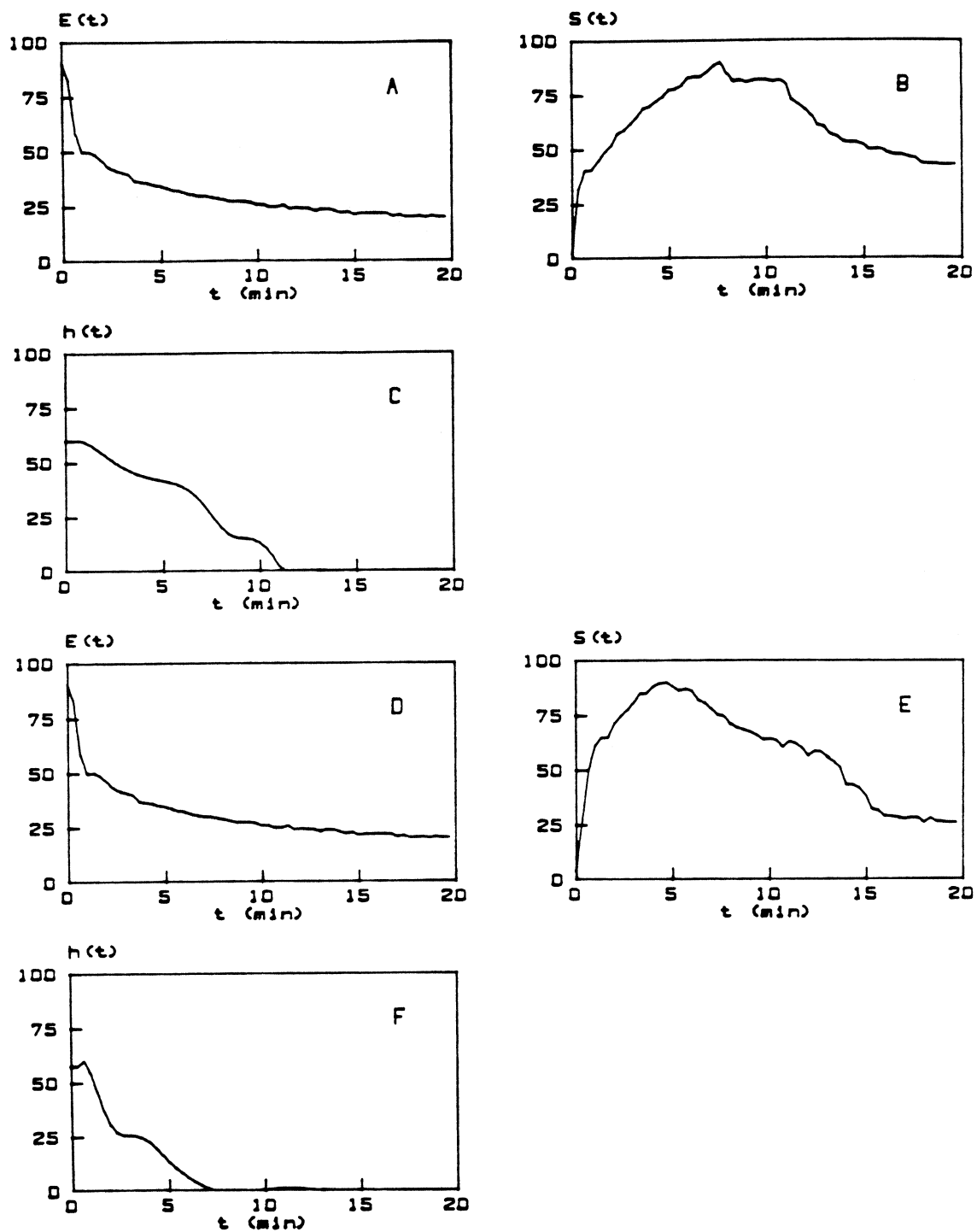


Figura 5.7. Paciente 6.

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

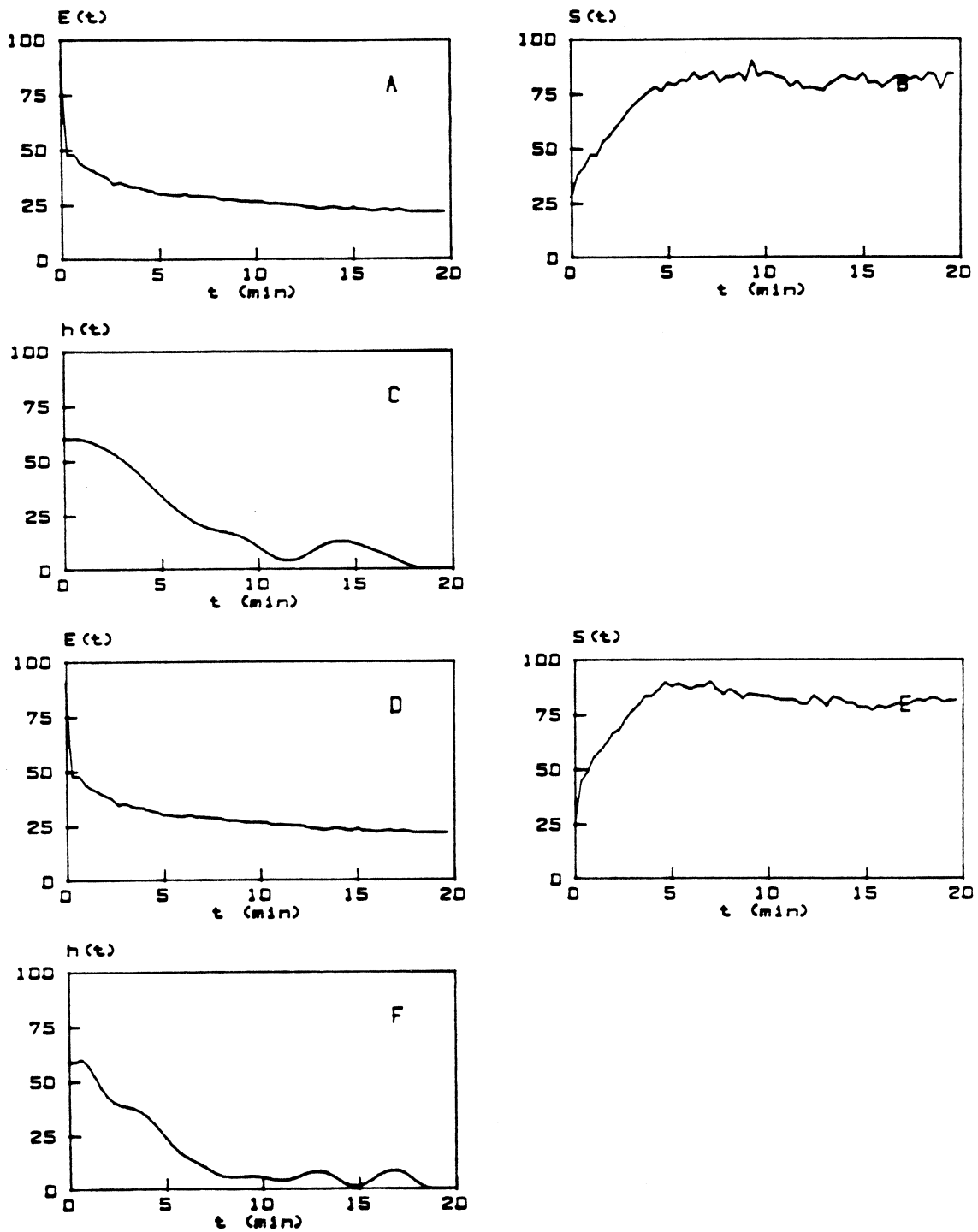


Figura 5.8. Paciente 7.

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

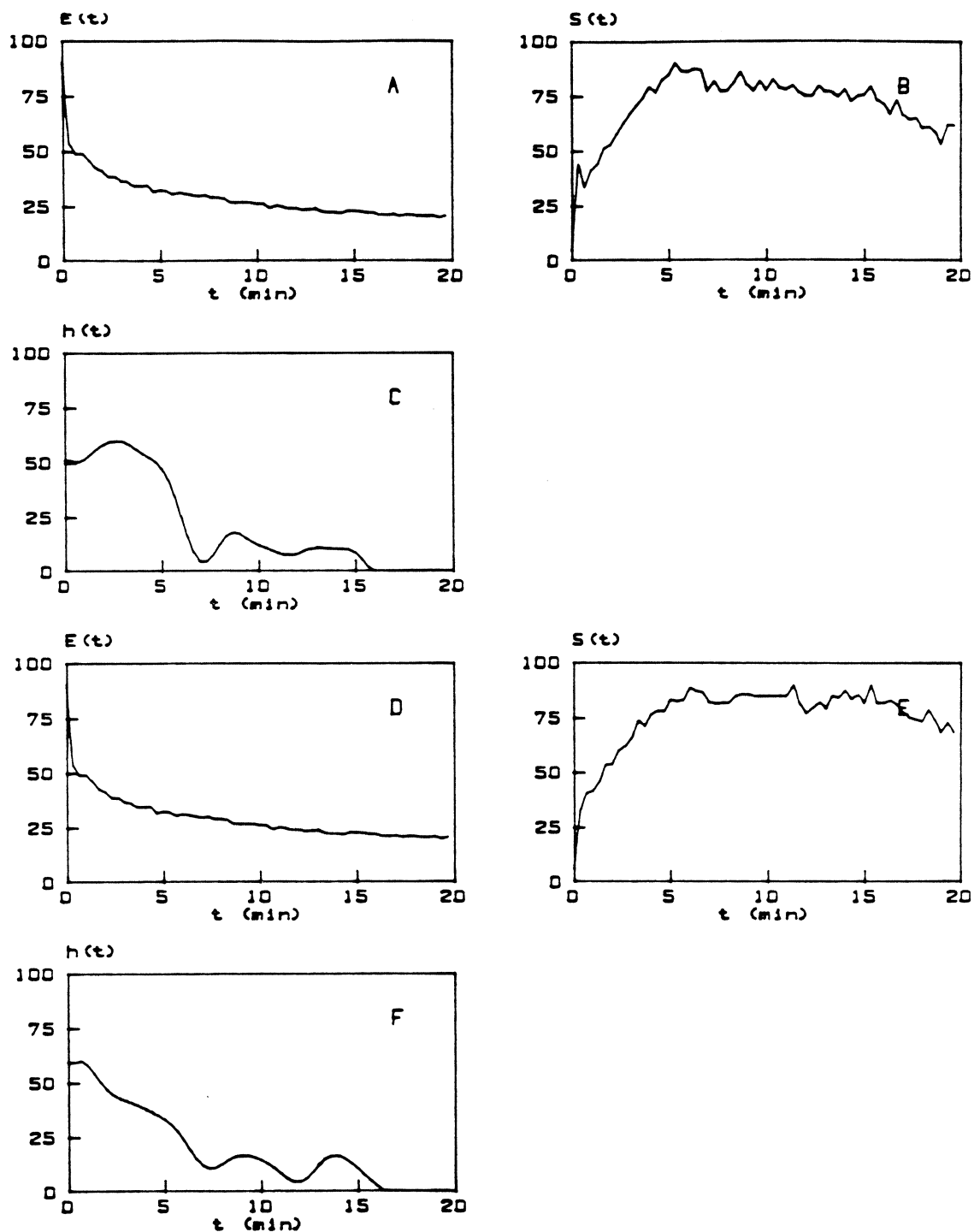


Figura 5.9. Paciente 8.

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

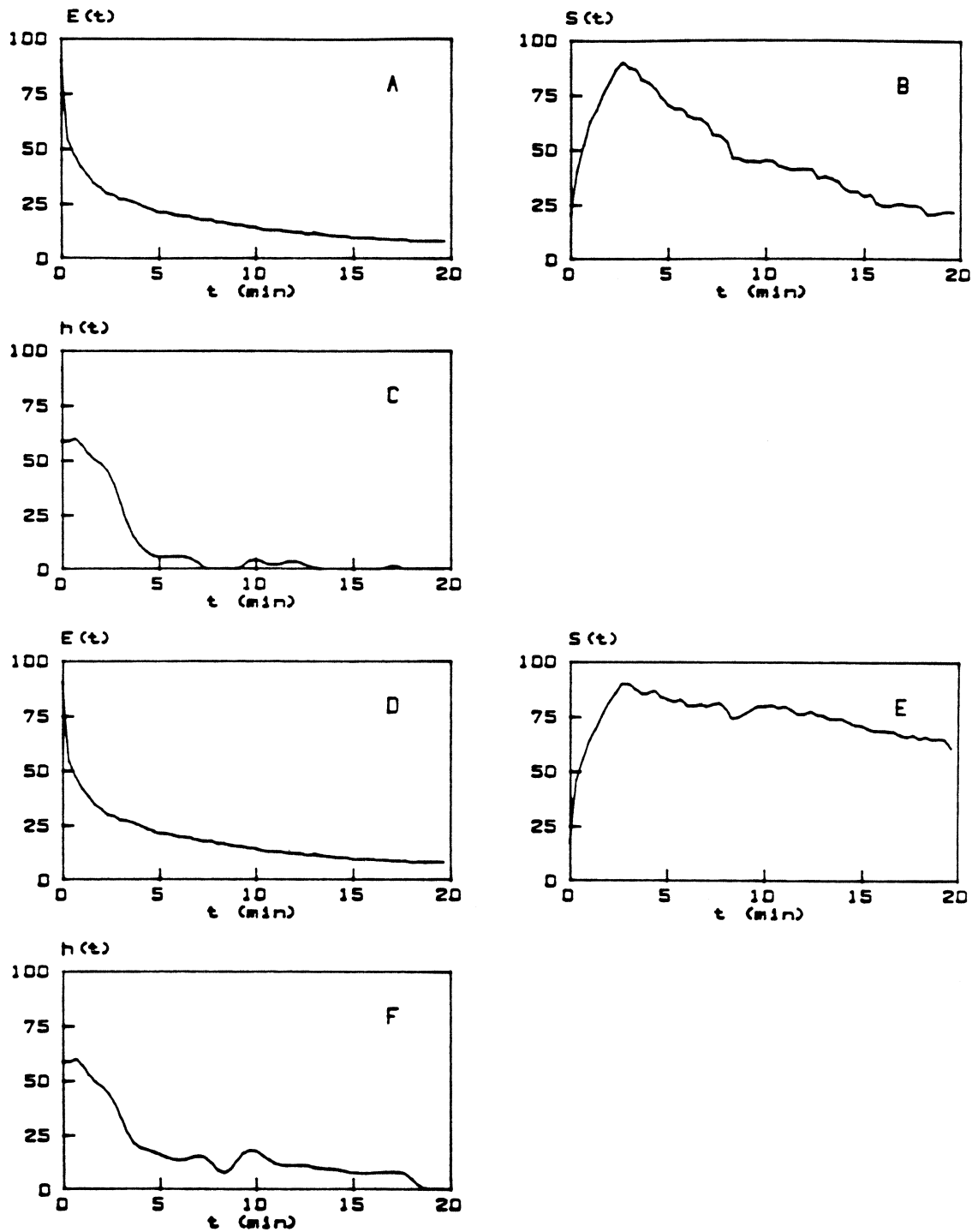


Figura 5.10. Paciente 9.

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

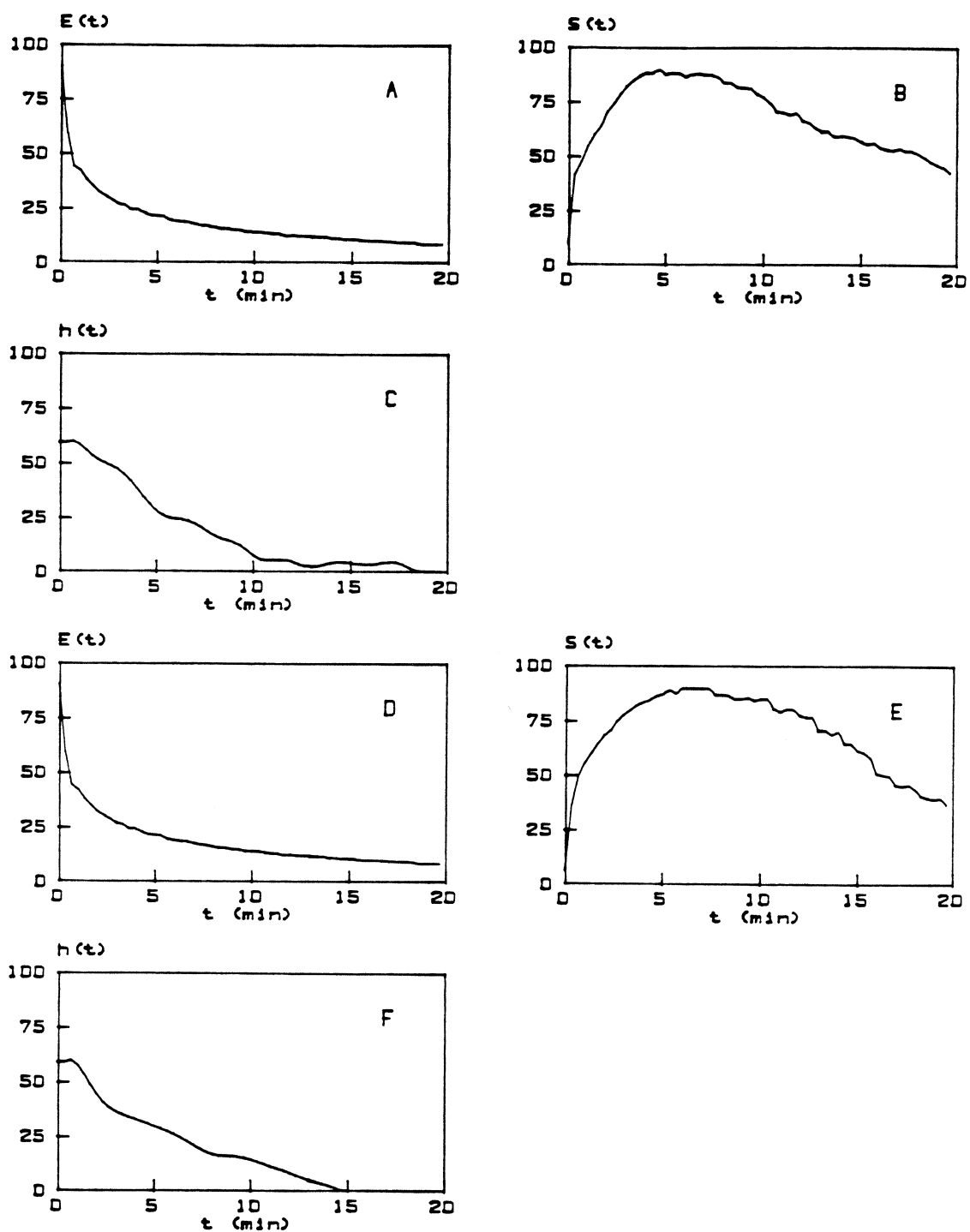


Figura 5.11. Paciente 10.

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

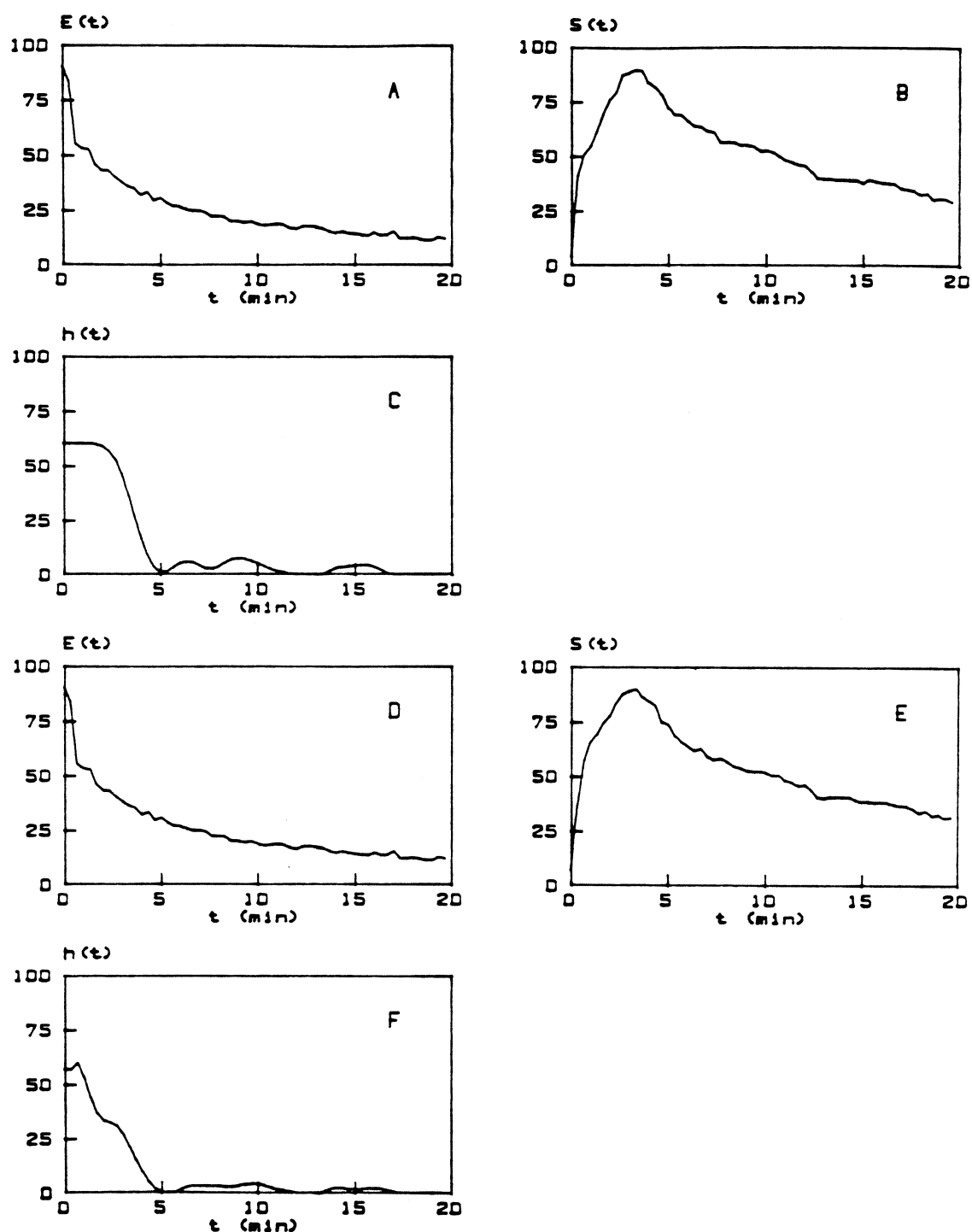


Figura 5.12. Paciente 11.

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

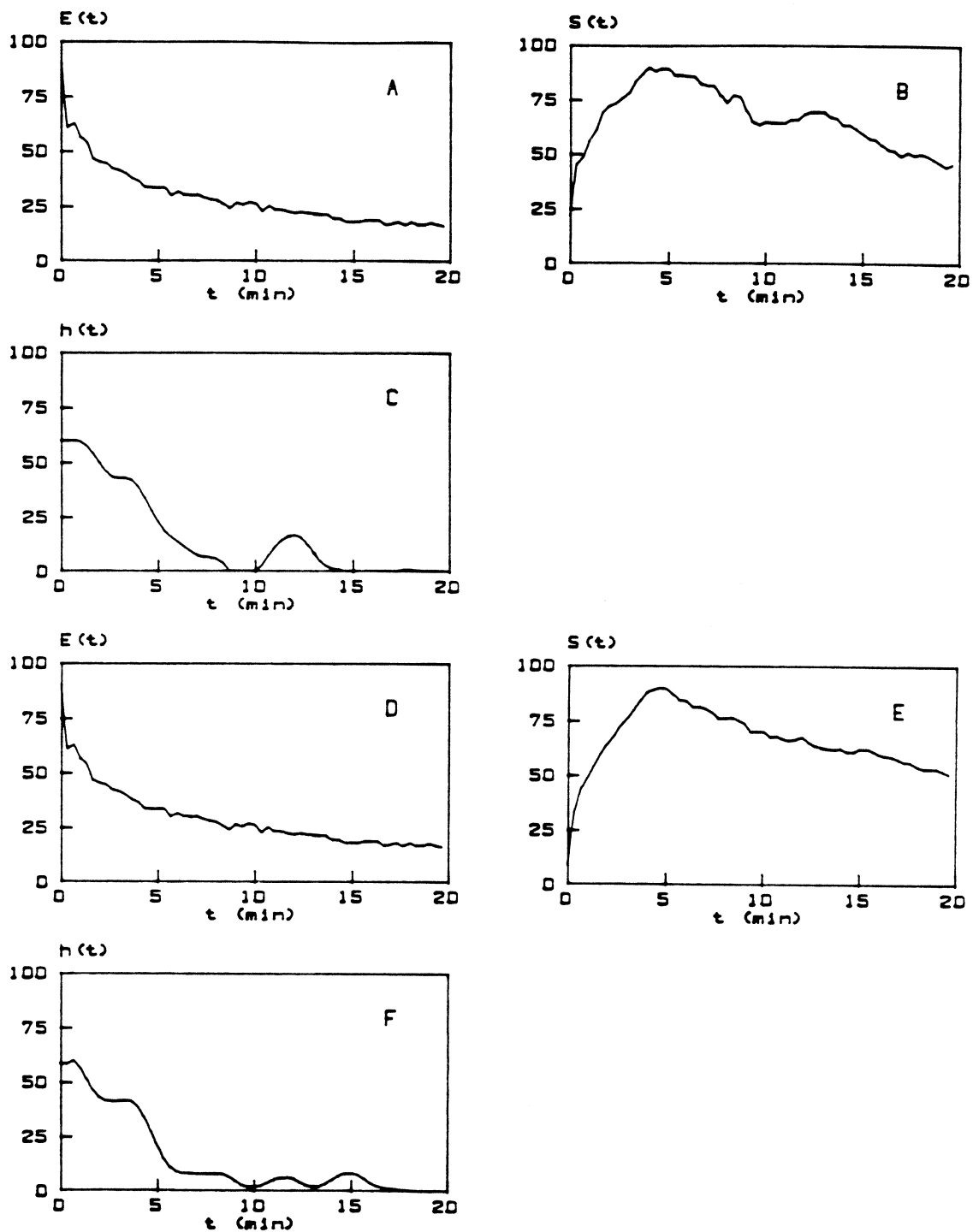


Figura 5.13. Paciente 12.

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

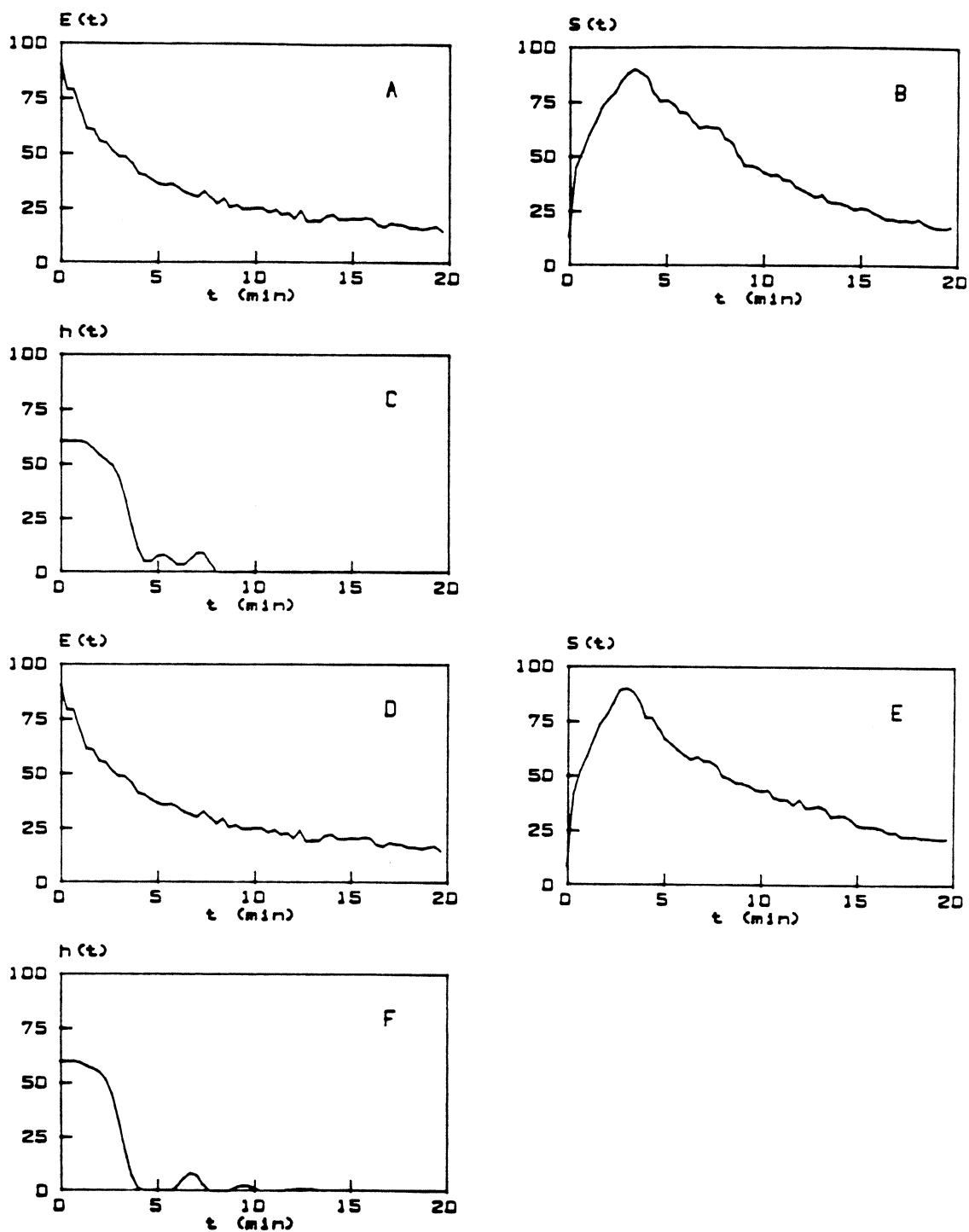


Figura 5.14. Paciente 13.

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

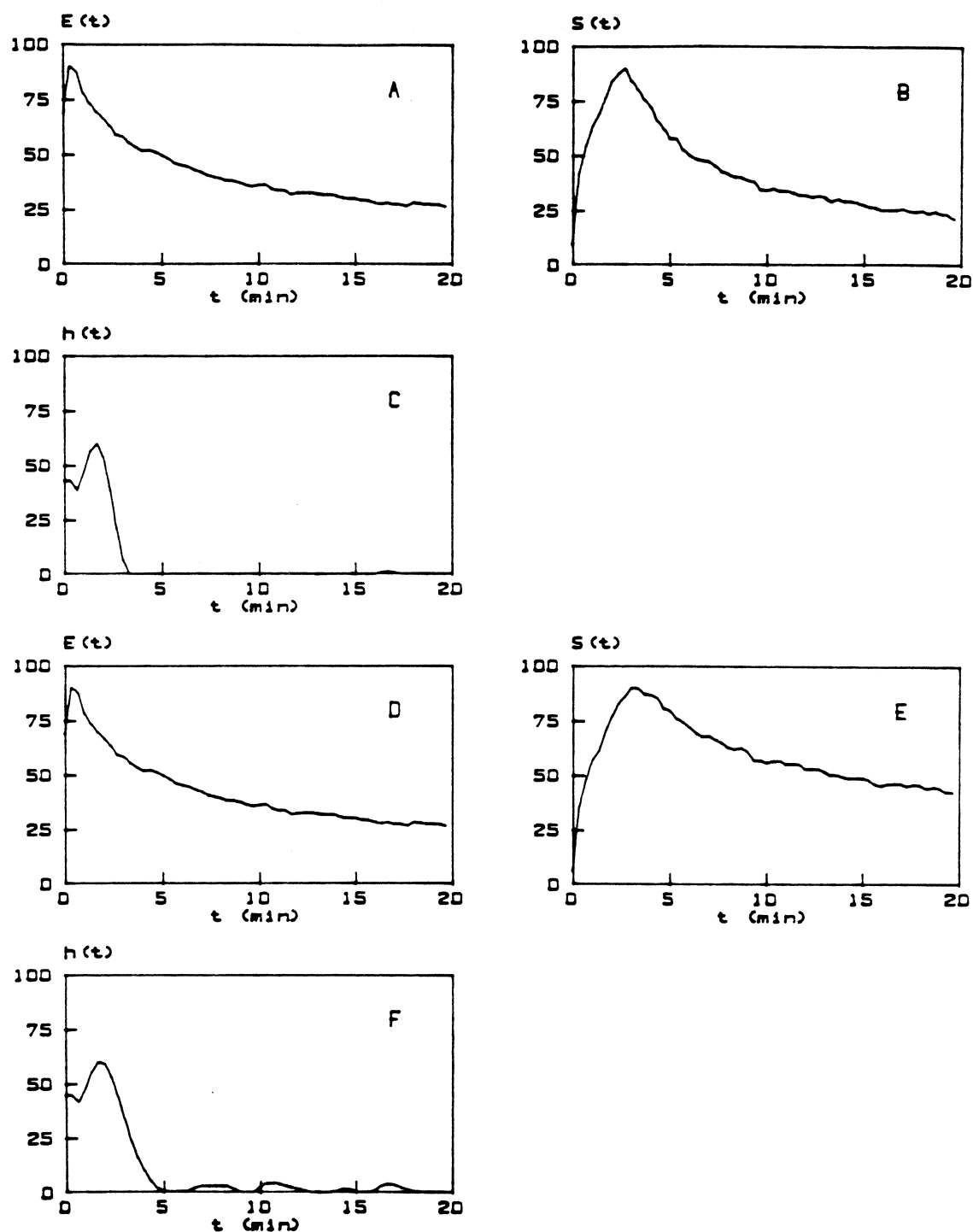


Figura 5.15. Paciente 14.

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

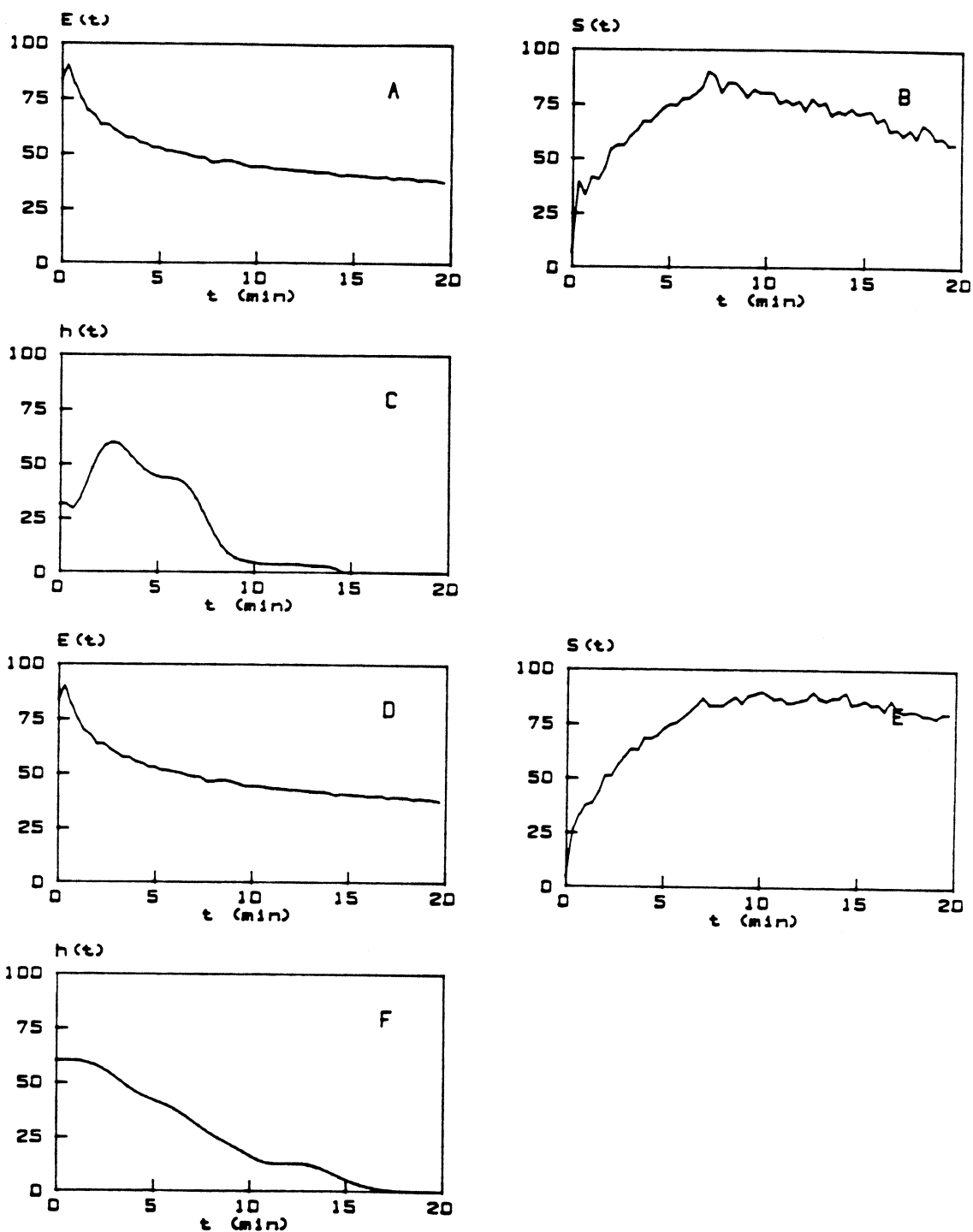


Figura 5.16. Paciente 15.

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

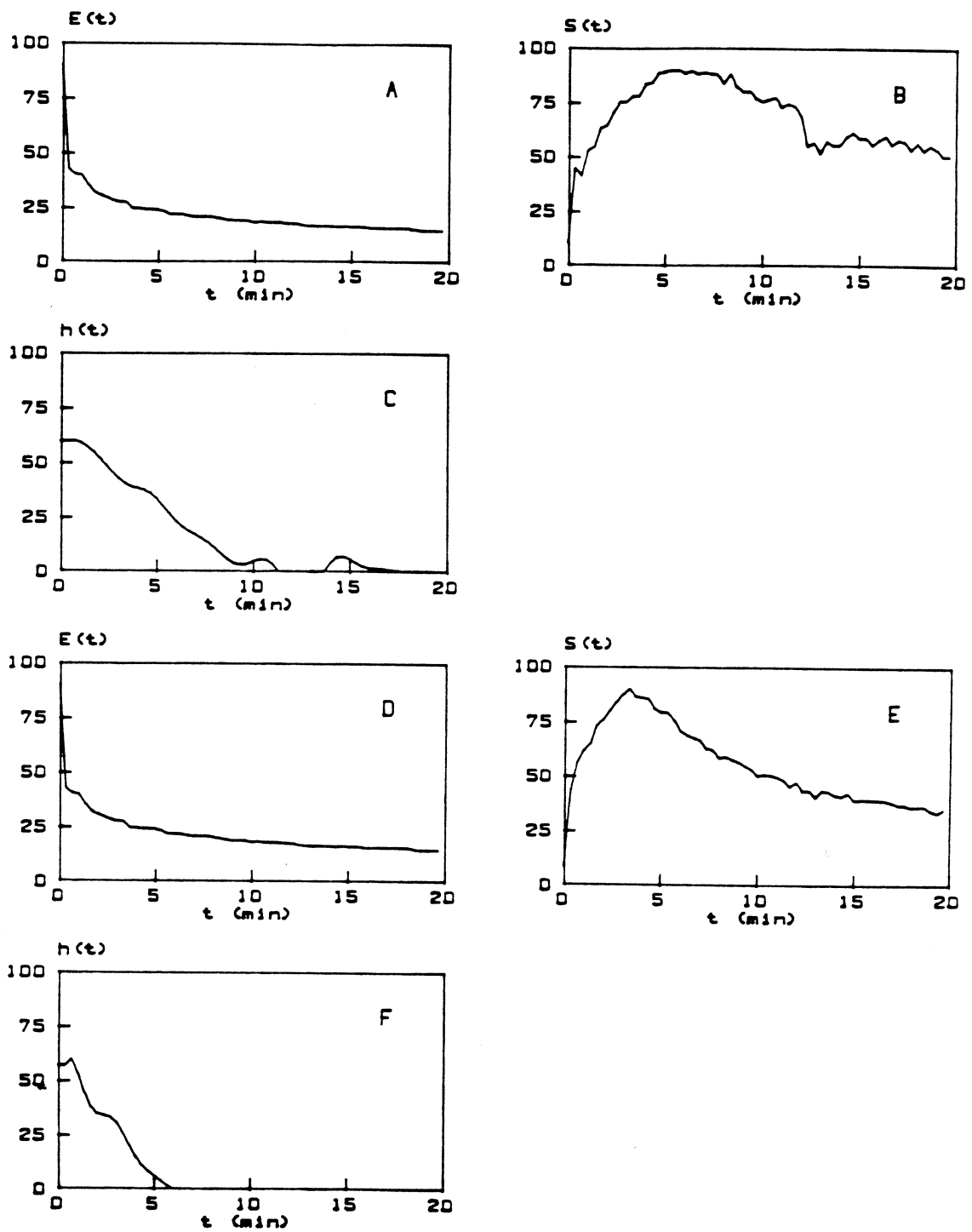


Figura 5.17. Paciente 16.

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

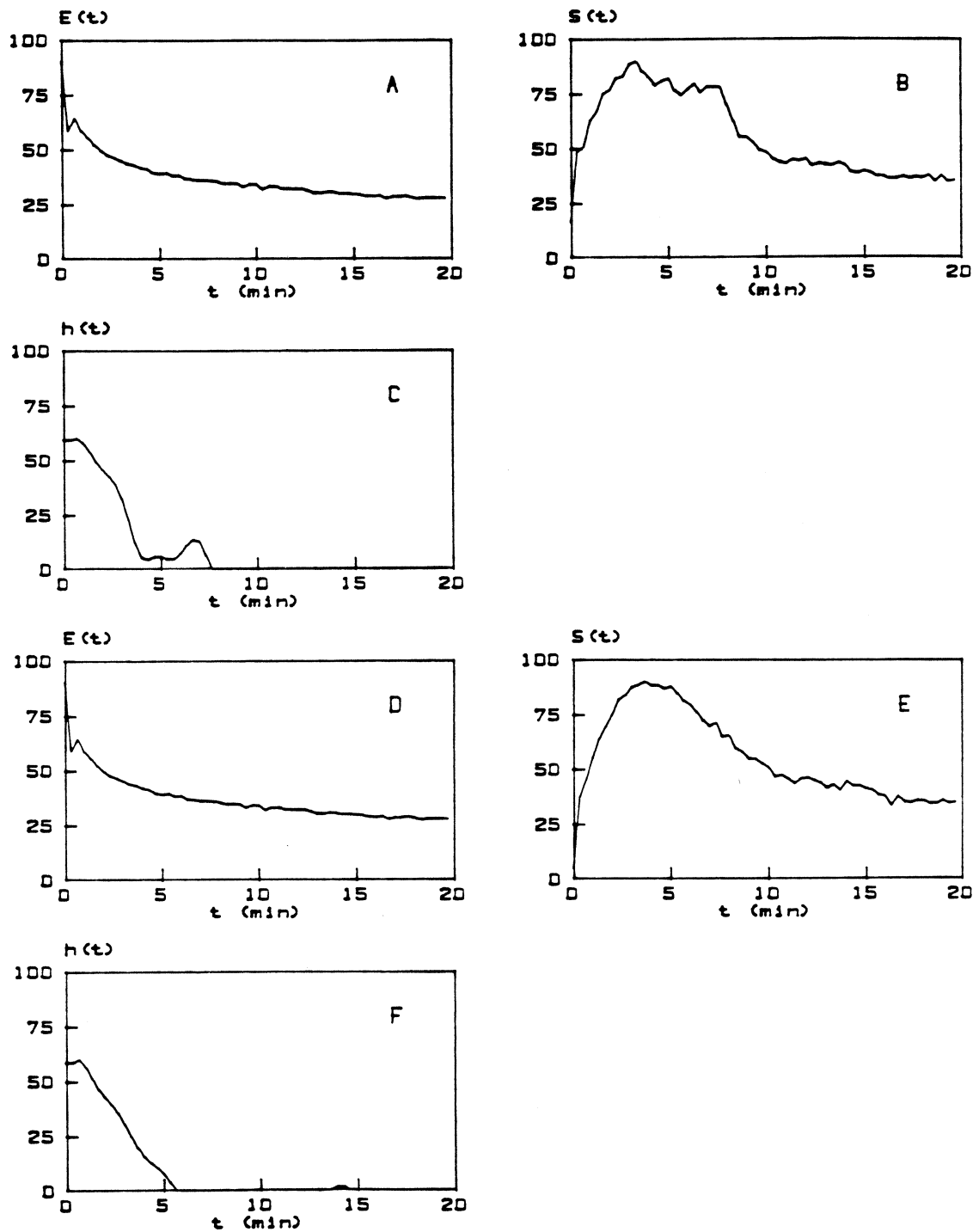


Figura 5.18. Paciente 17.

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

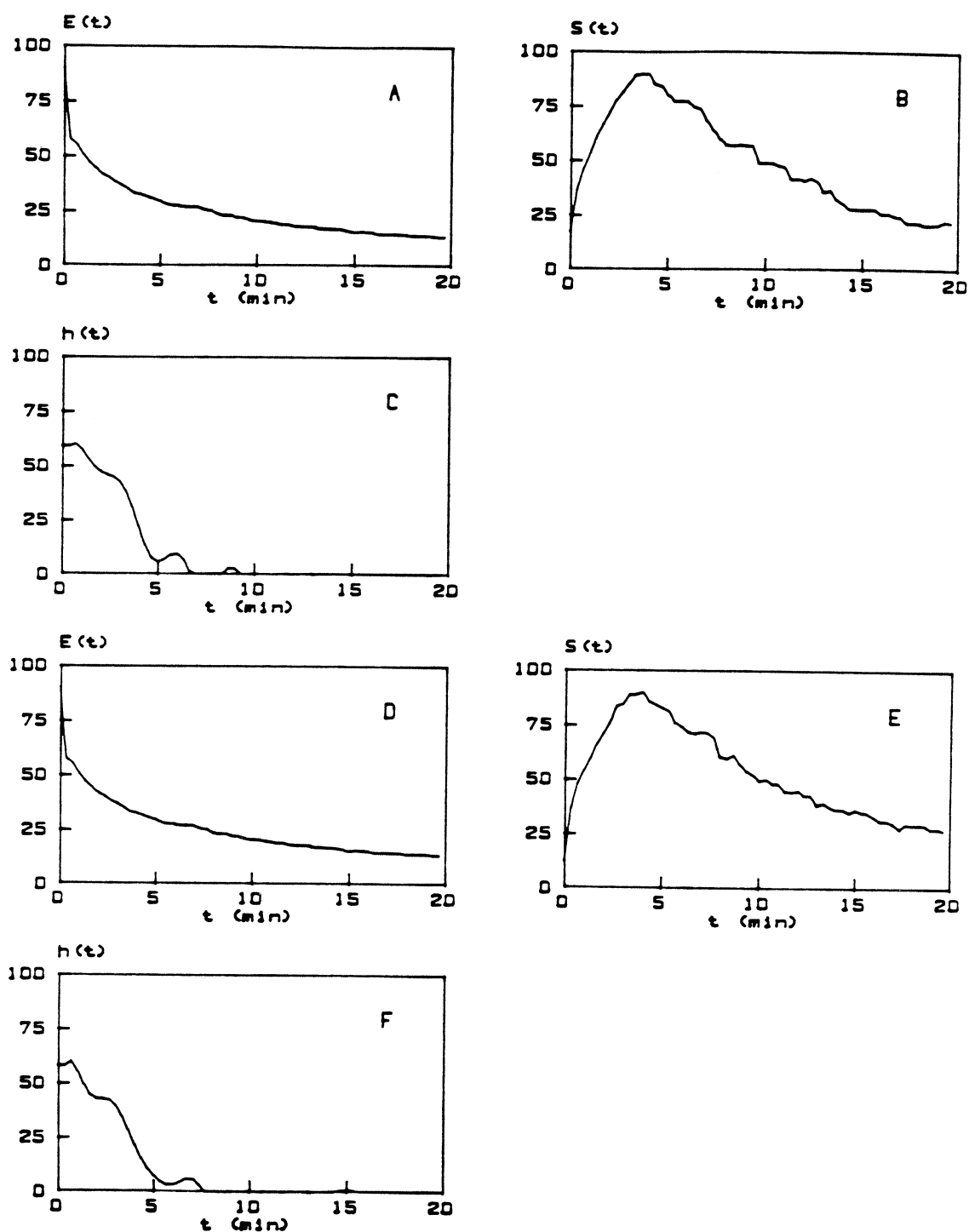


Figura 5.19. Paciente 18.

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

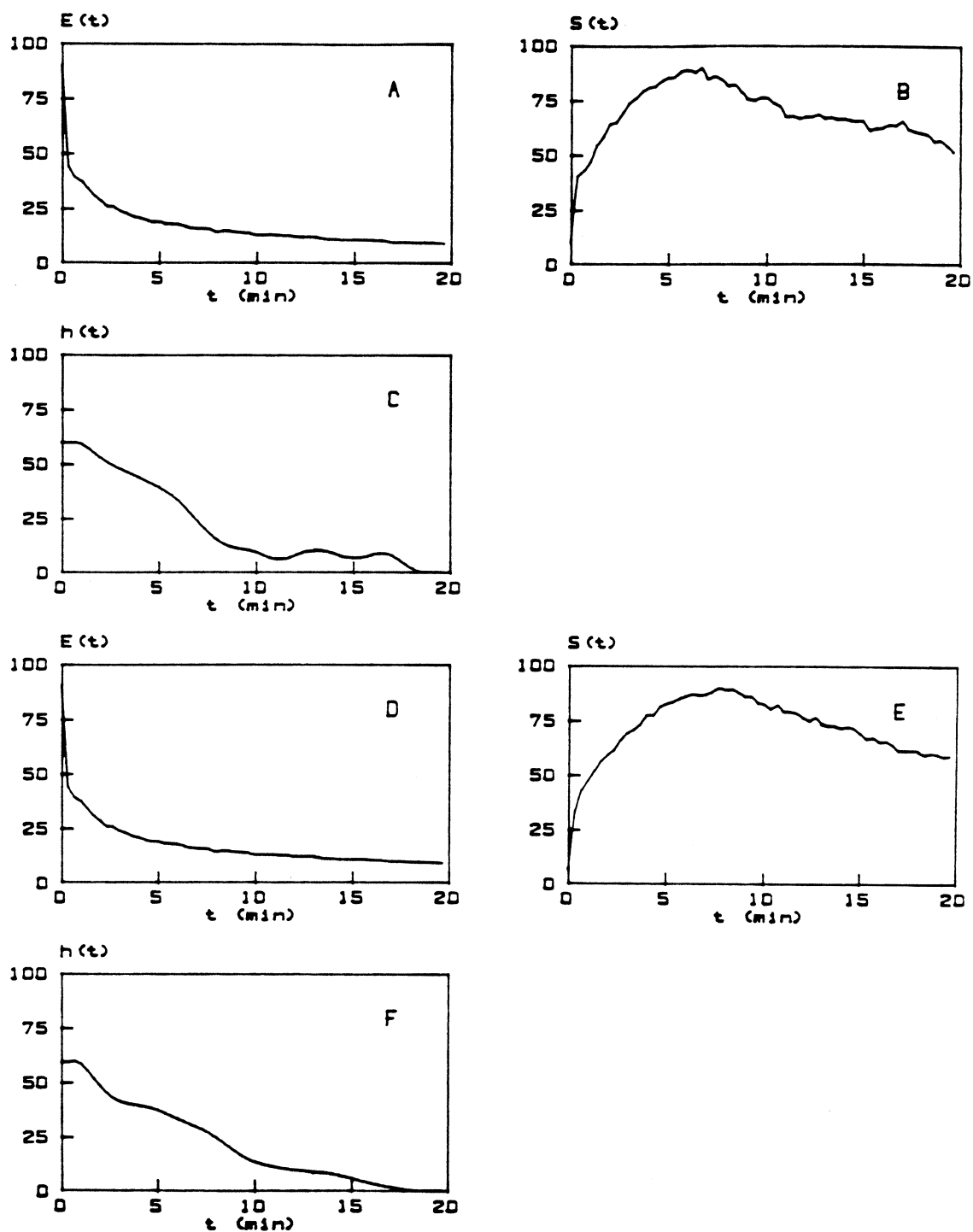


Figura 5.20. Paciente 19.

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

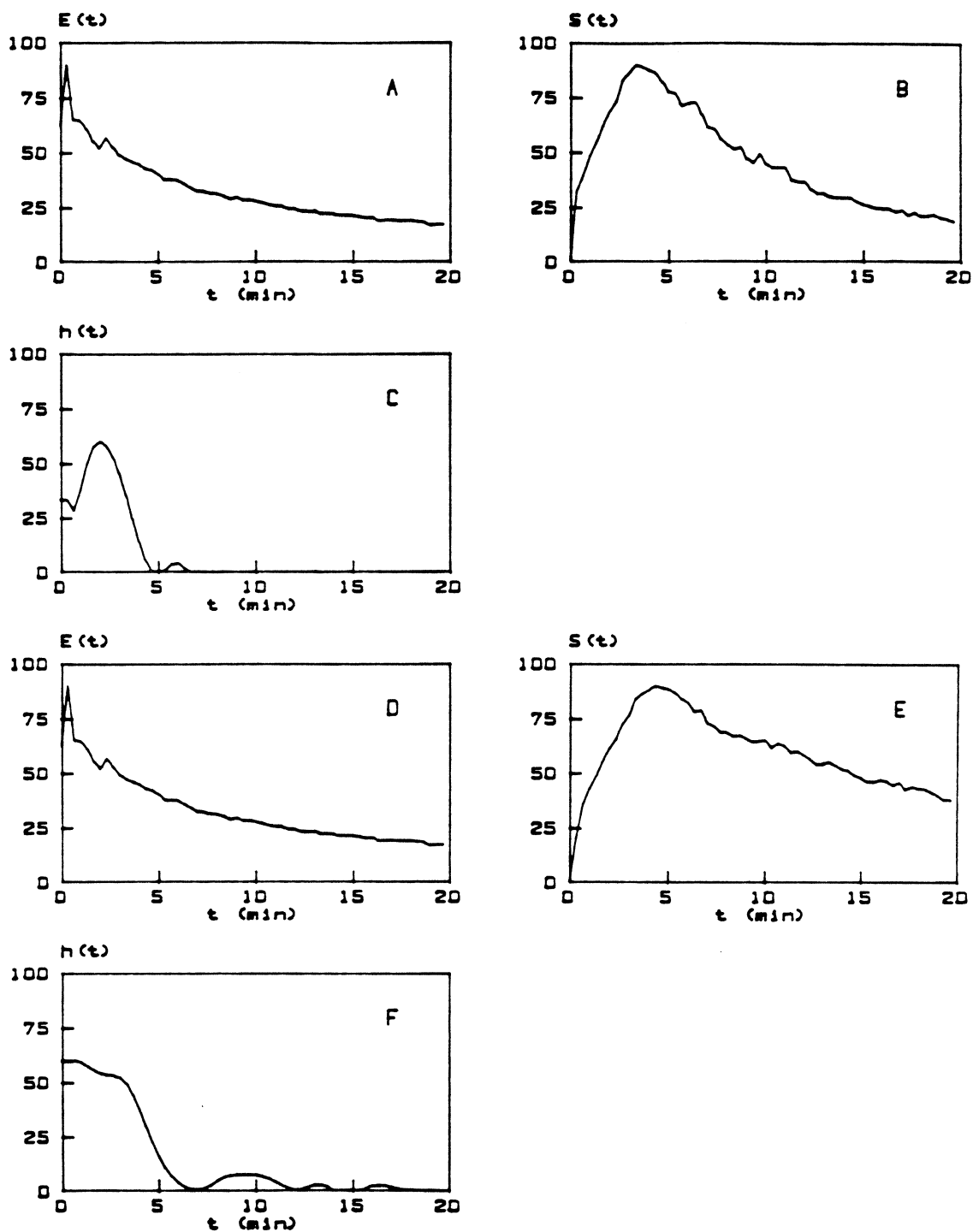


Figura 5.21. Paciente 20.

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

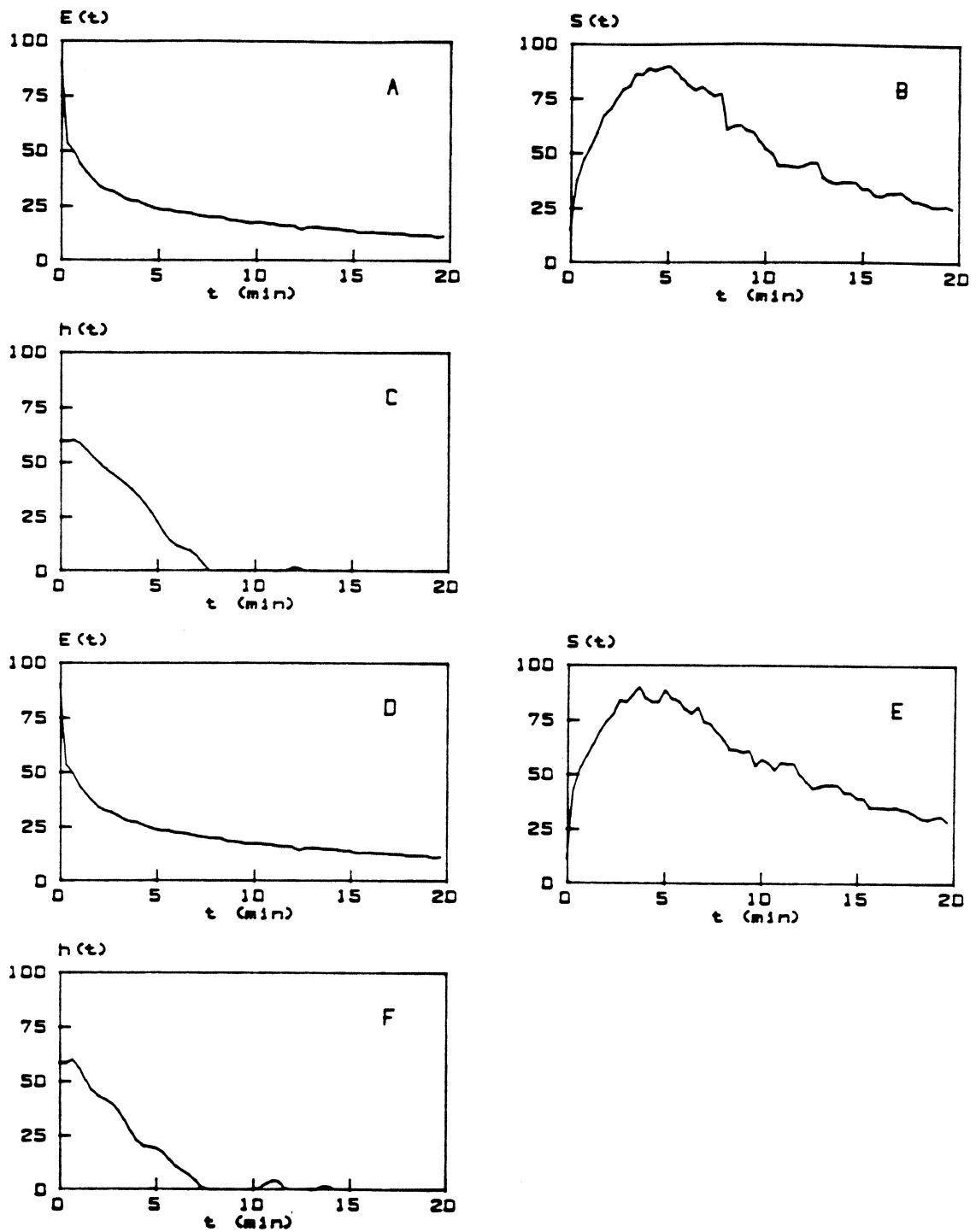


Figura 5.22. Paciente 21.

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

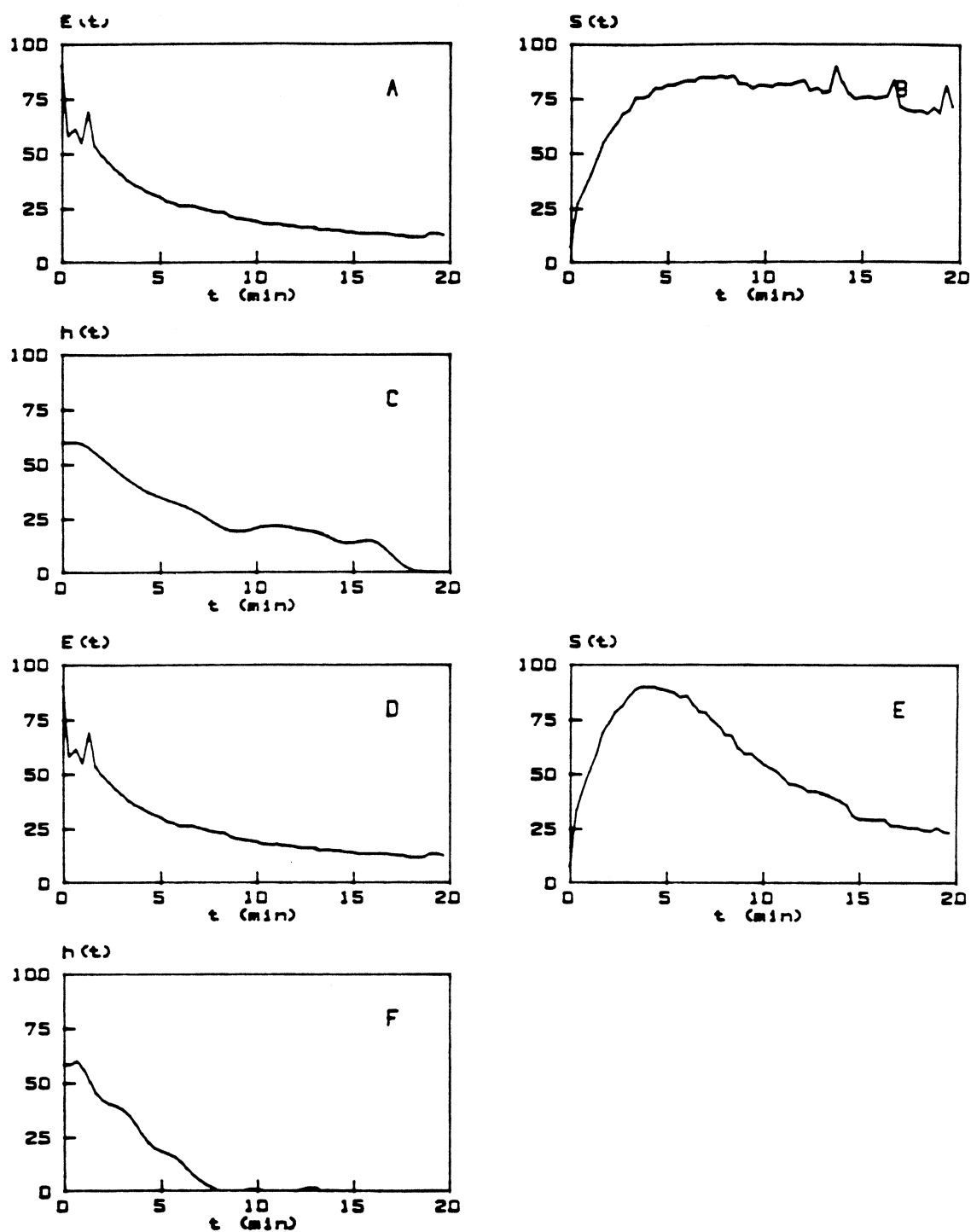


Figura 5.23. Paciente 22.

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

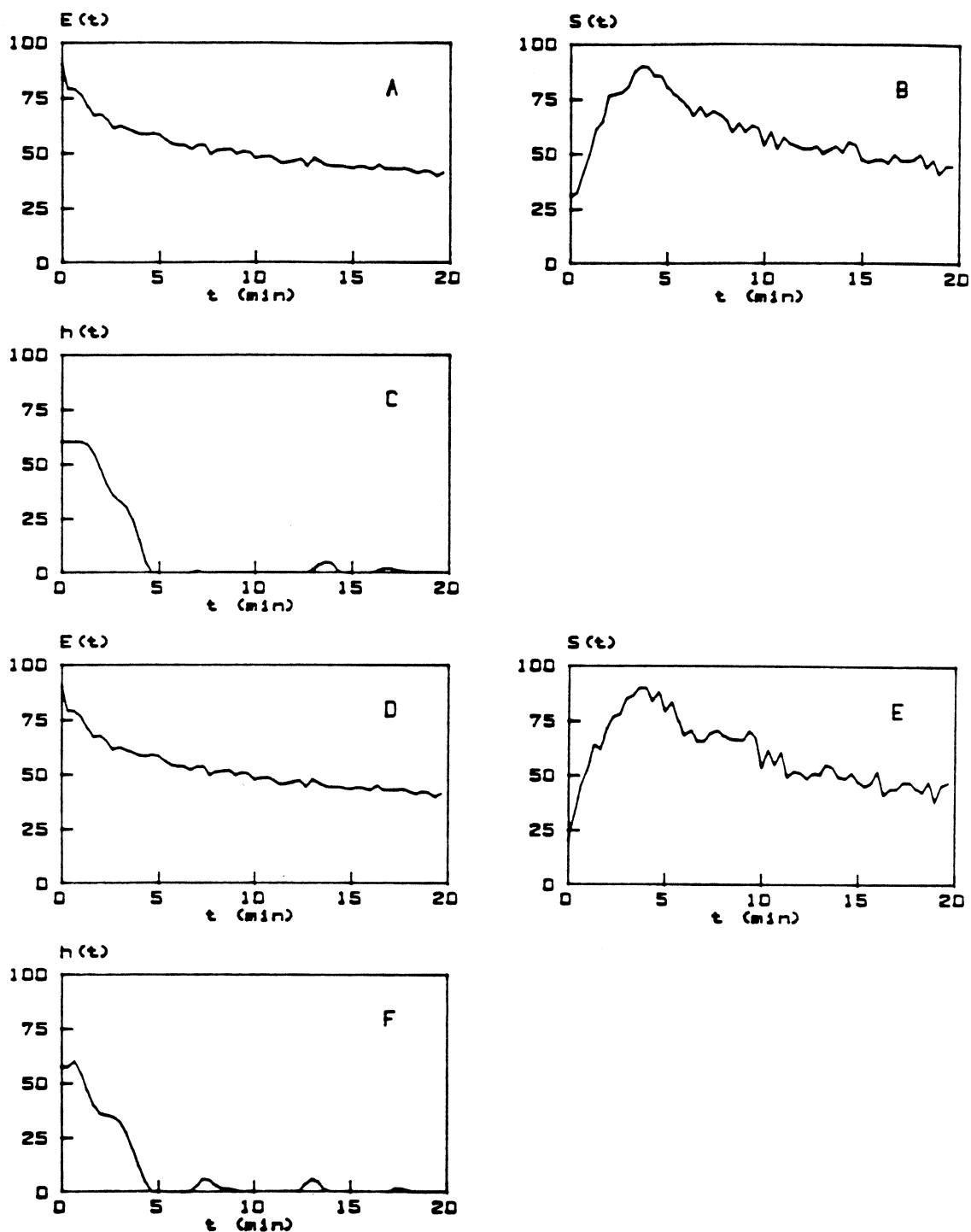


Figura 5.24. Paciente 23.

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

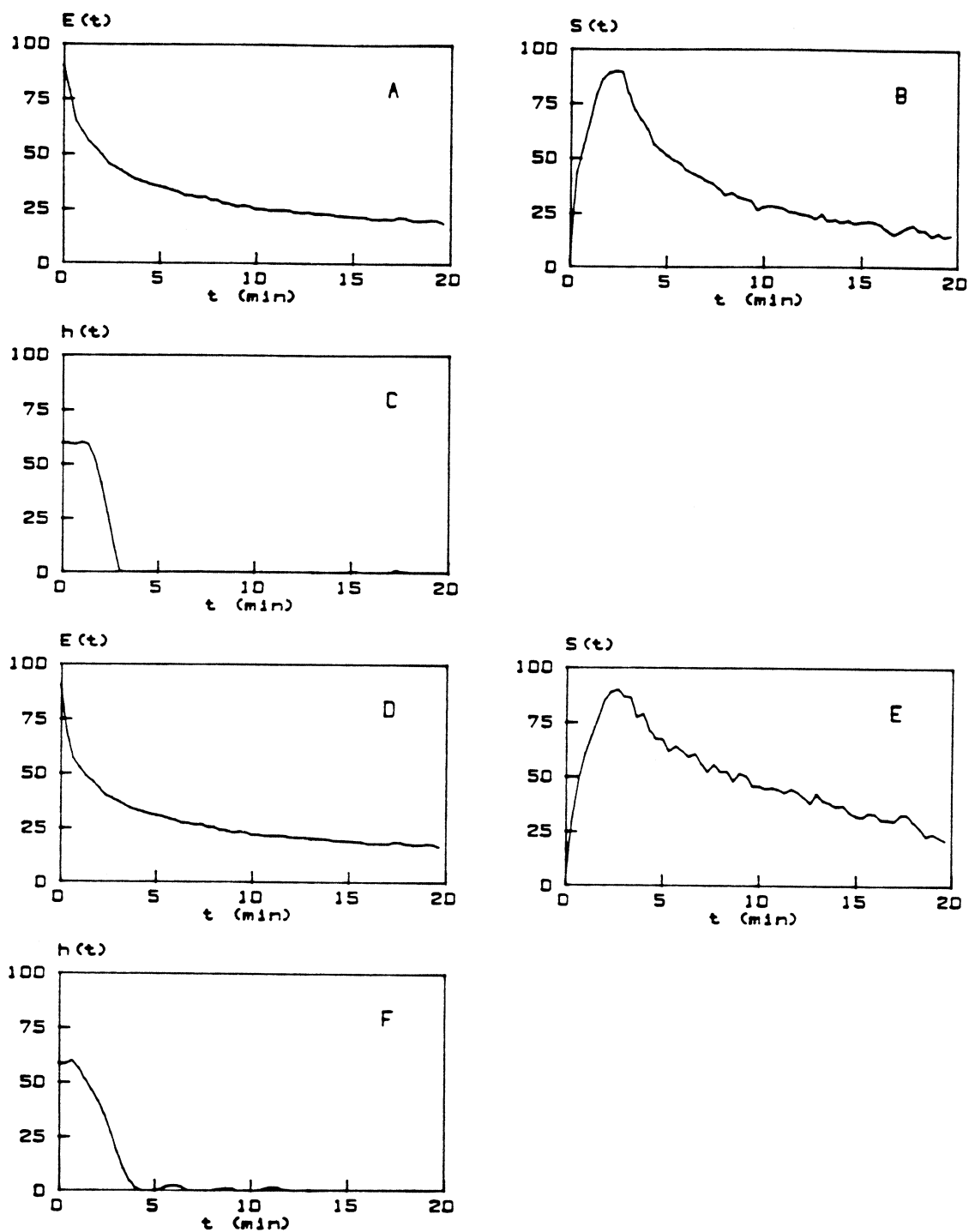


Figura 5.25. Paciente 24.

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

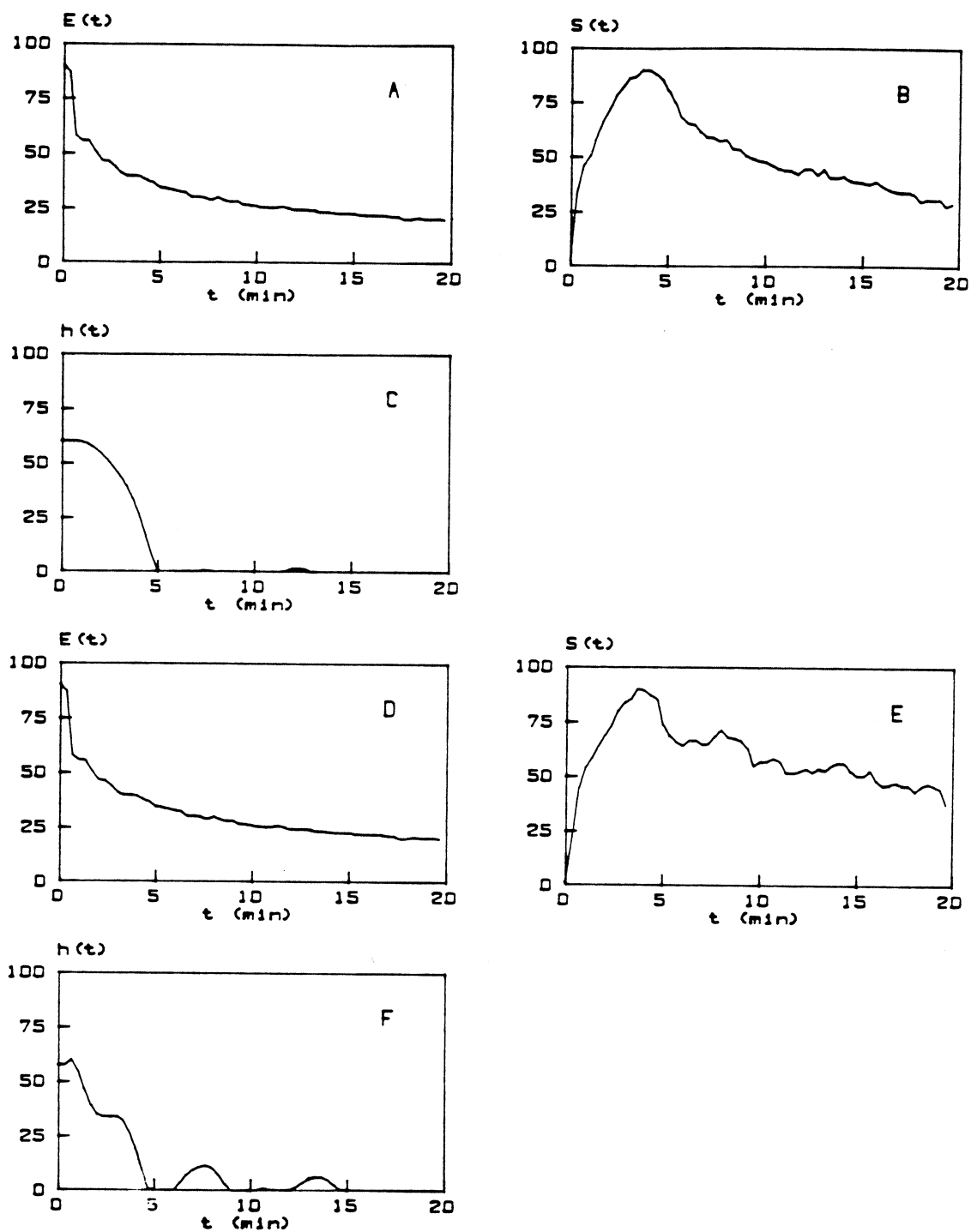


Figura 5.26. Paciente 25.

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

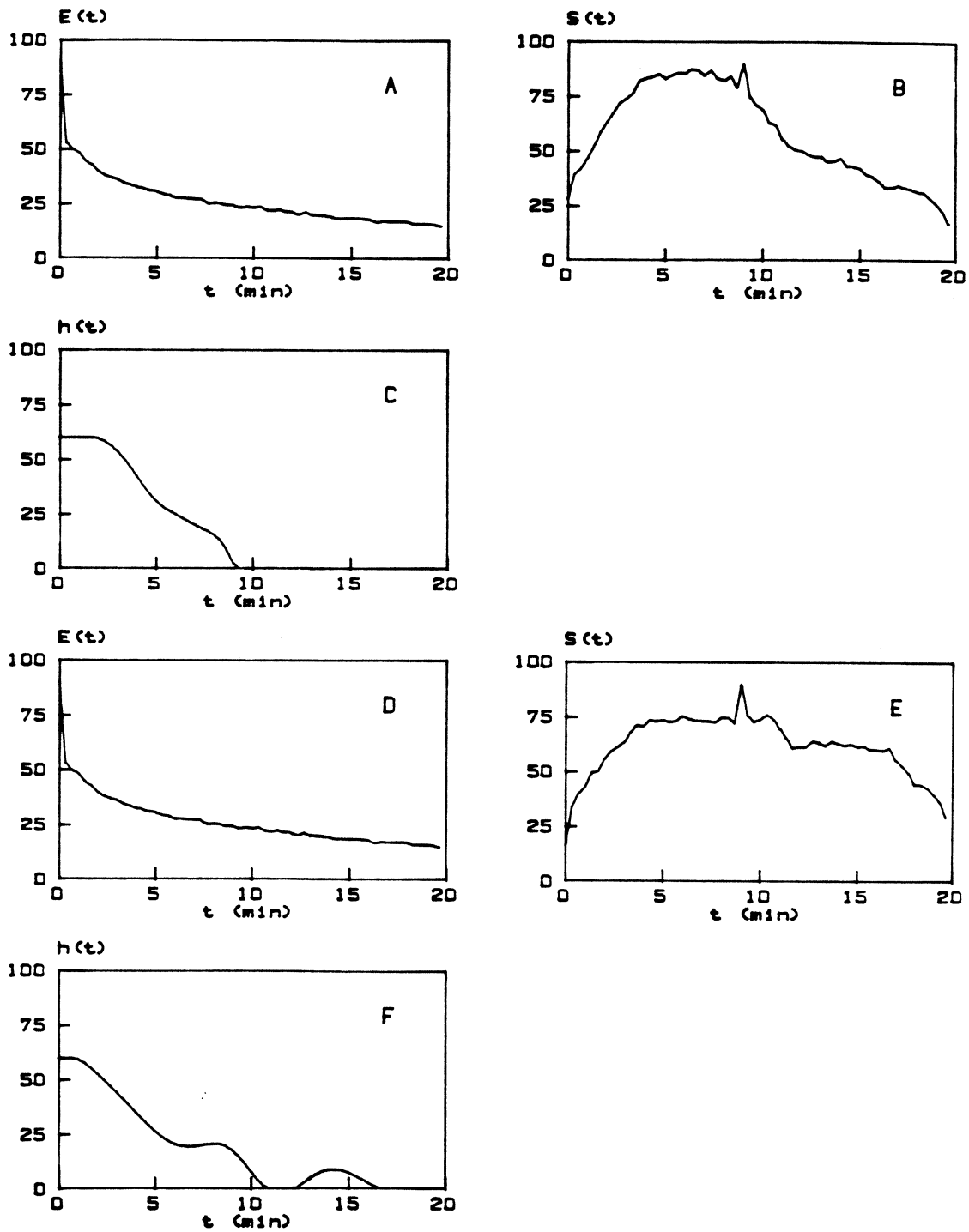


Figura 5.27. Paciente 26.

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

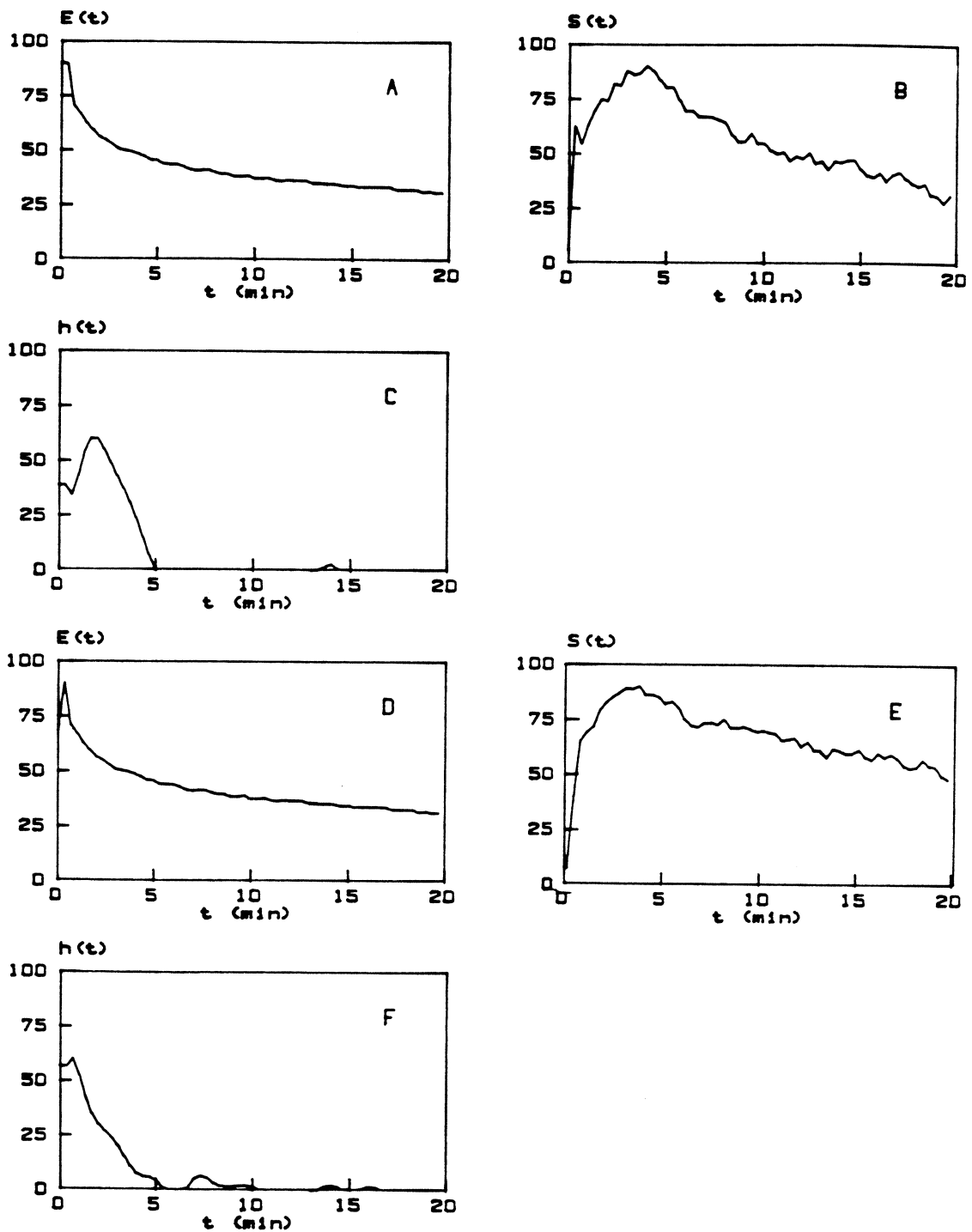


Figura 5.28. Paciente 27.

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

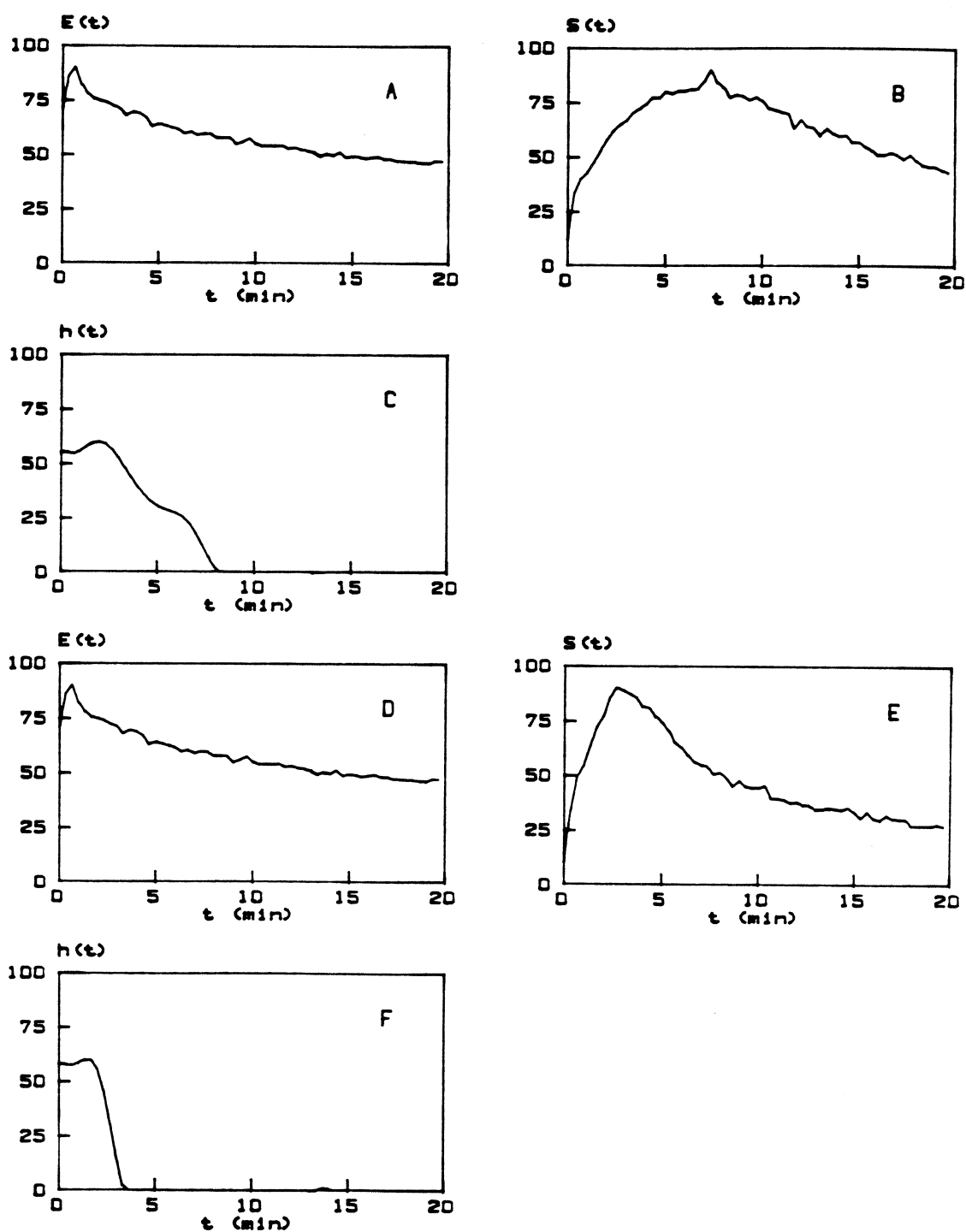


Figura 5.29. Paciente 28.

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

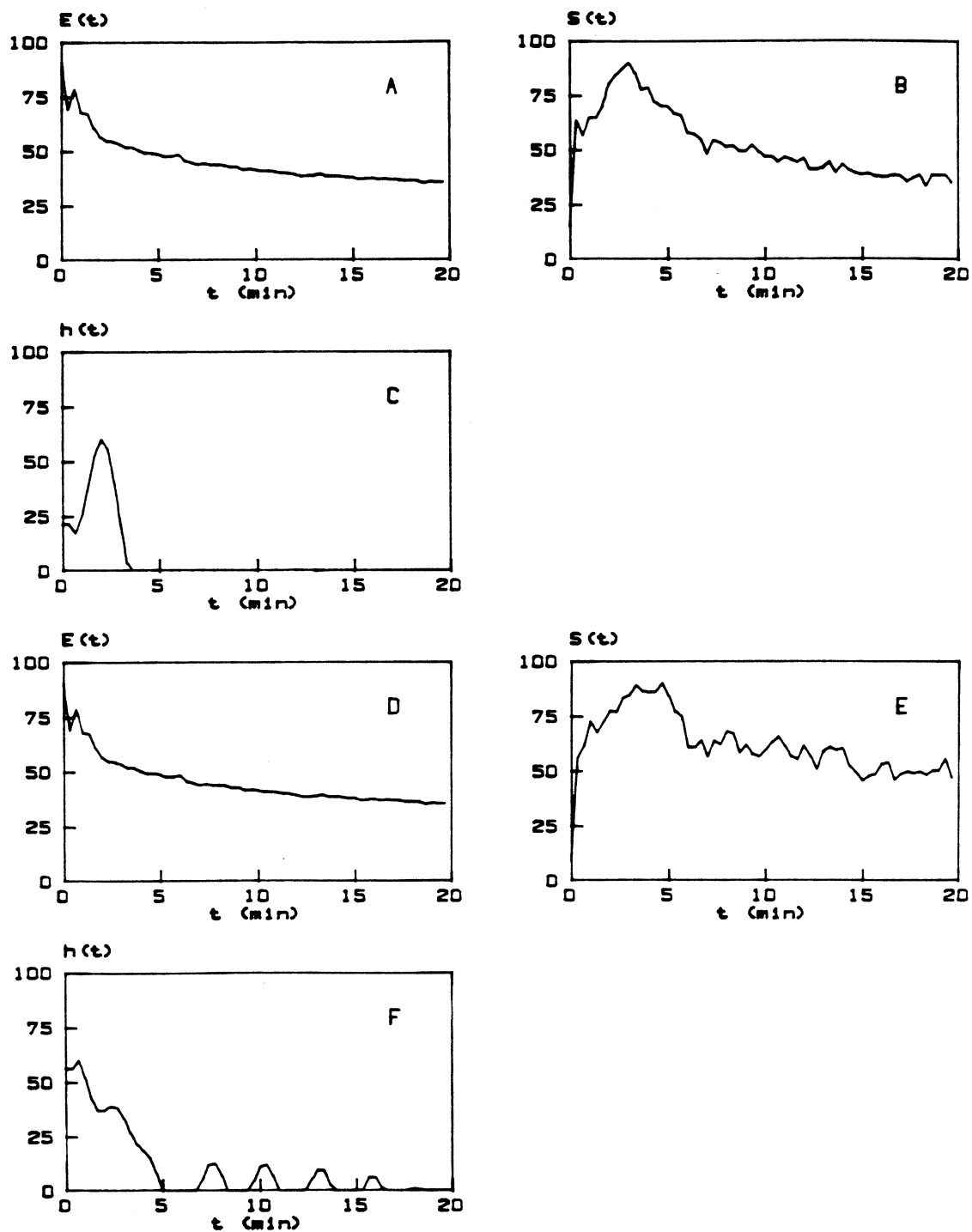


Figura 5.30. Paciente 29.

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

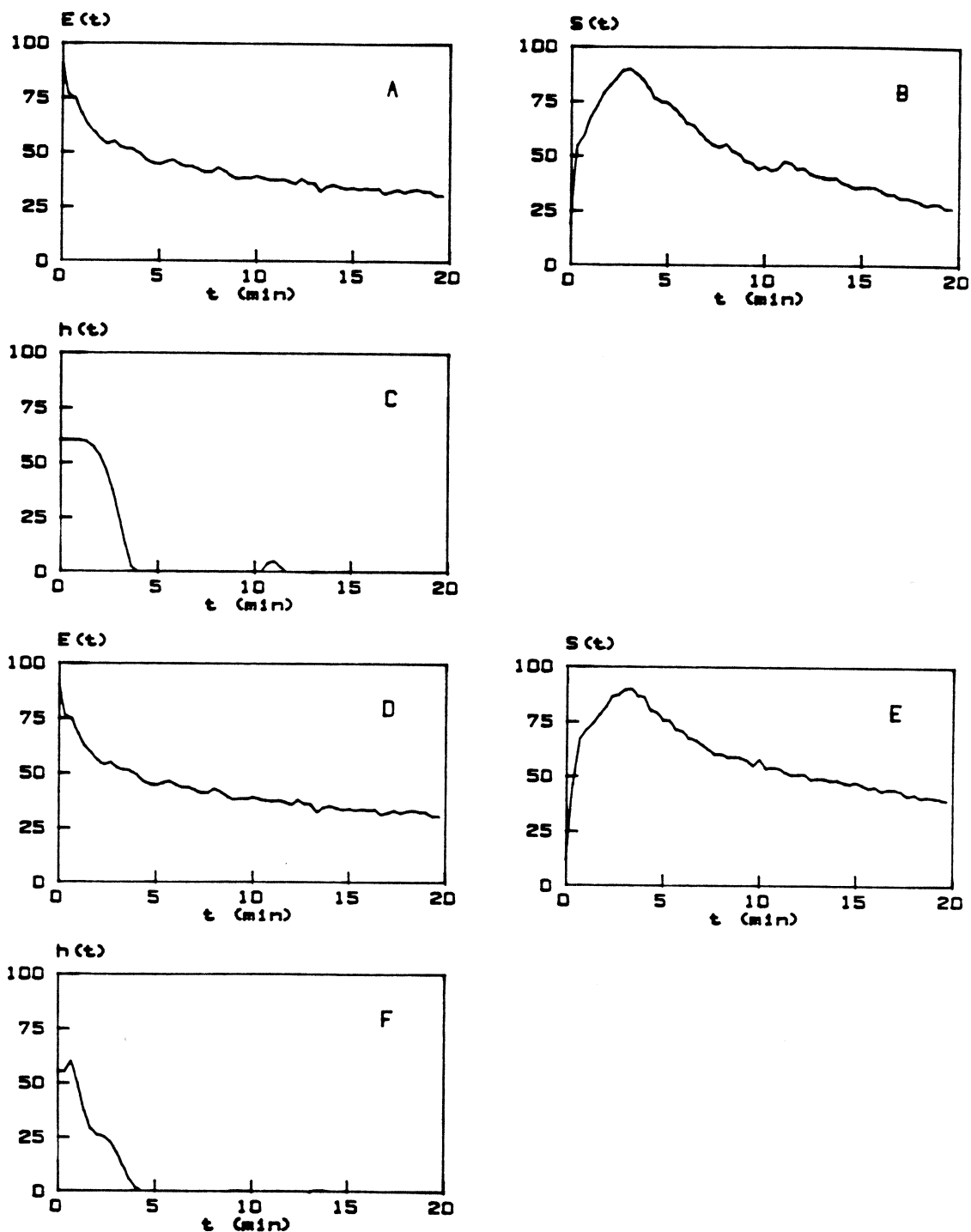


Figura 5.31. Paciente 30.

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

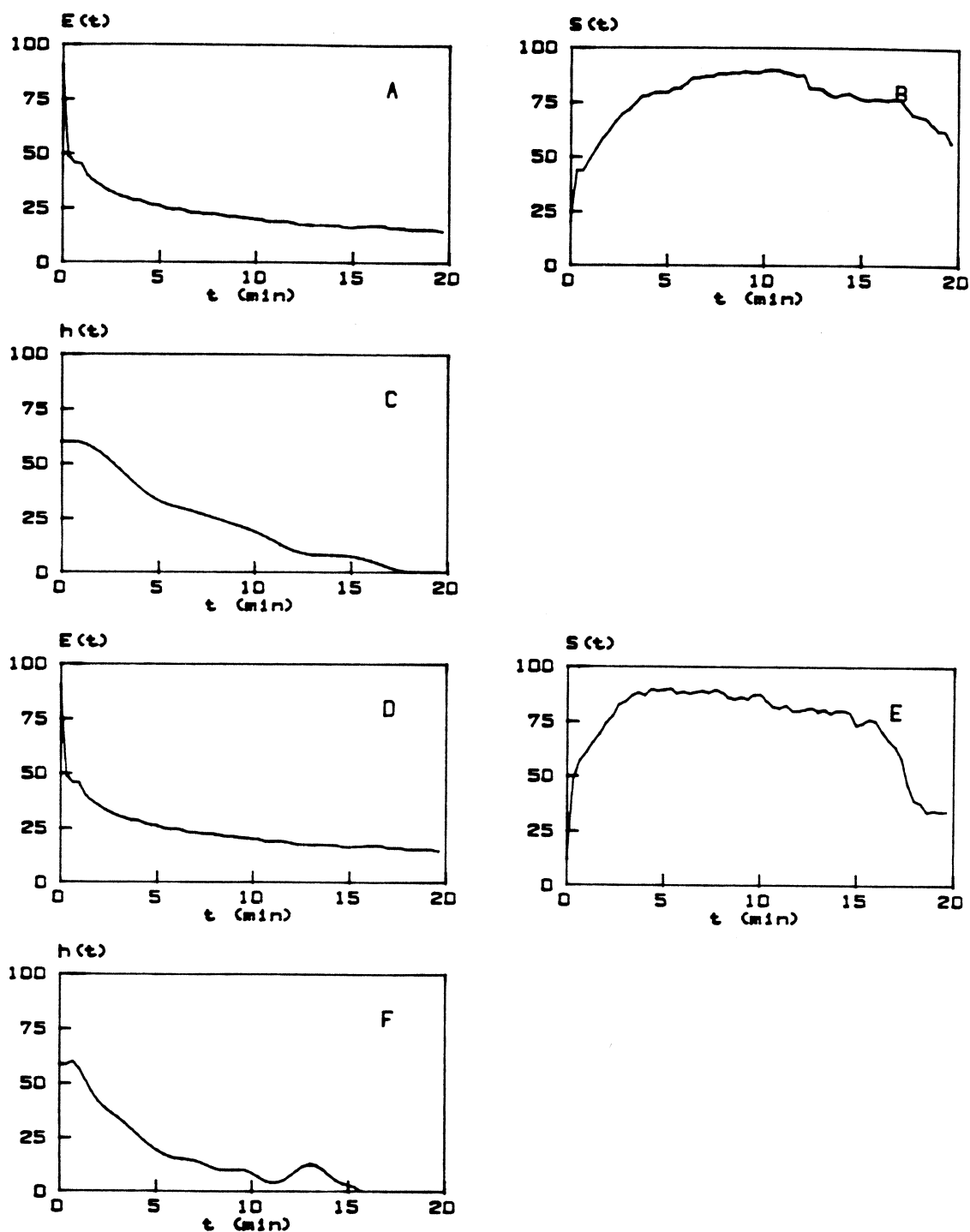


Figura 5.32. Paciente 31.

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

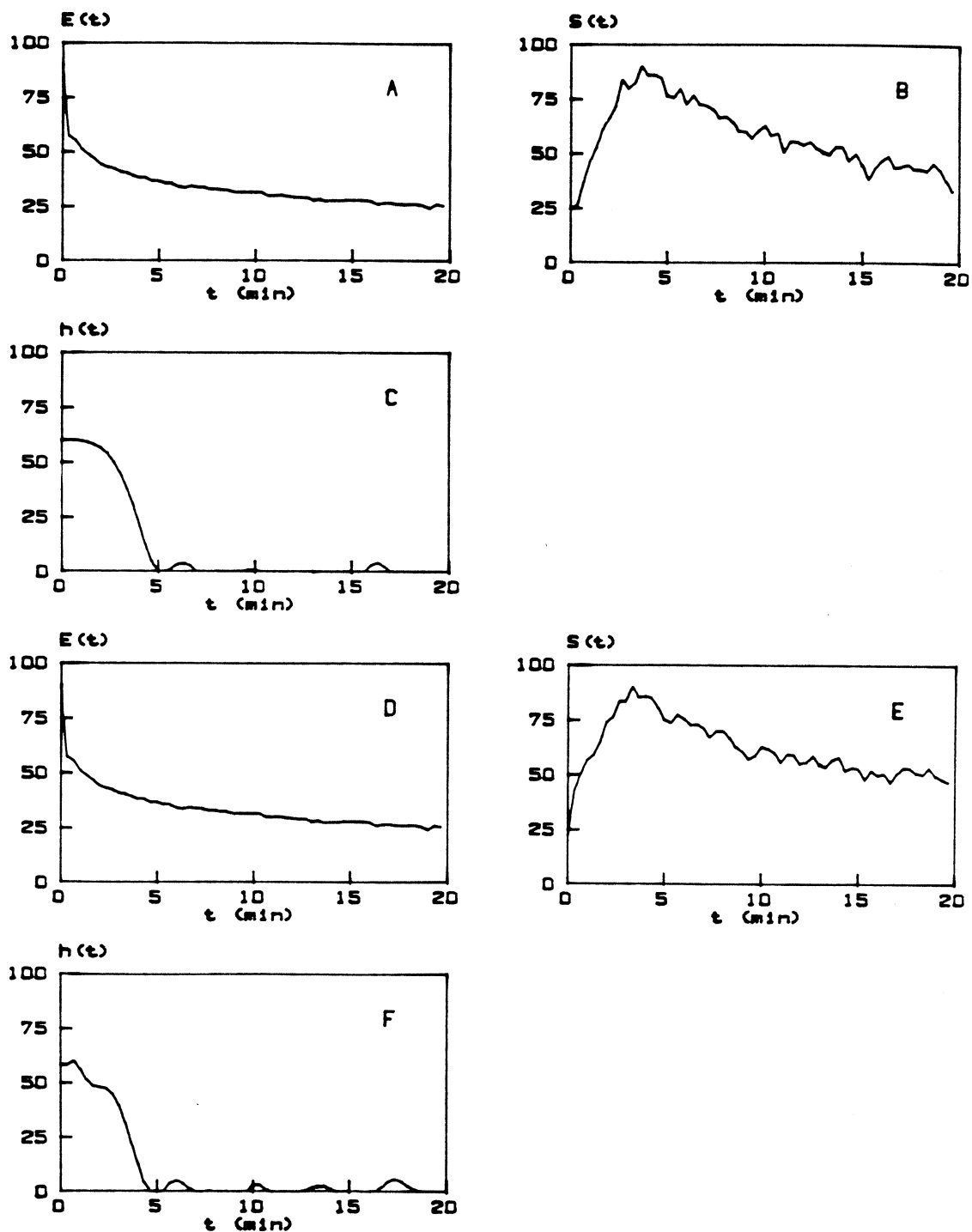


Figura 5.33. Paciente 32.

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

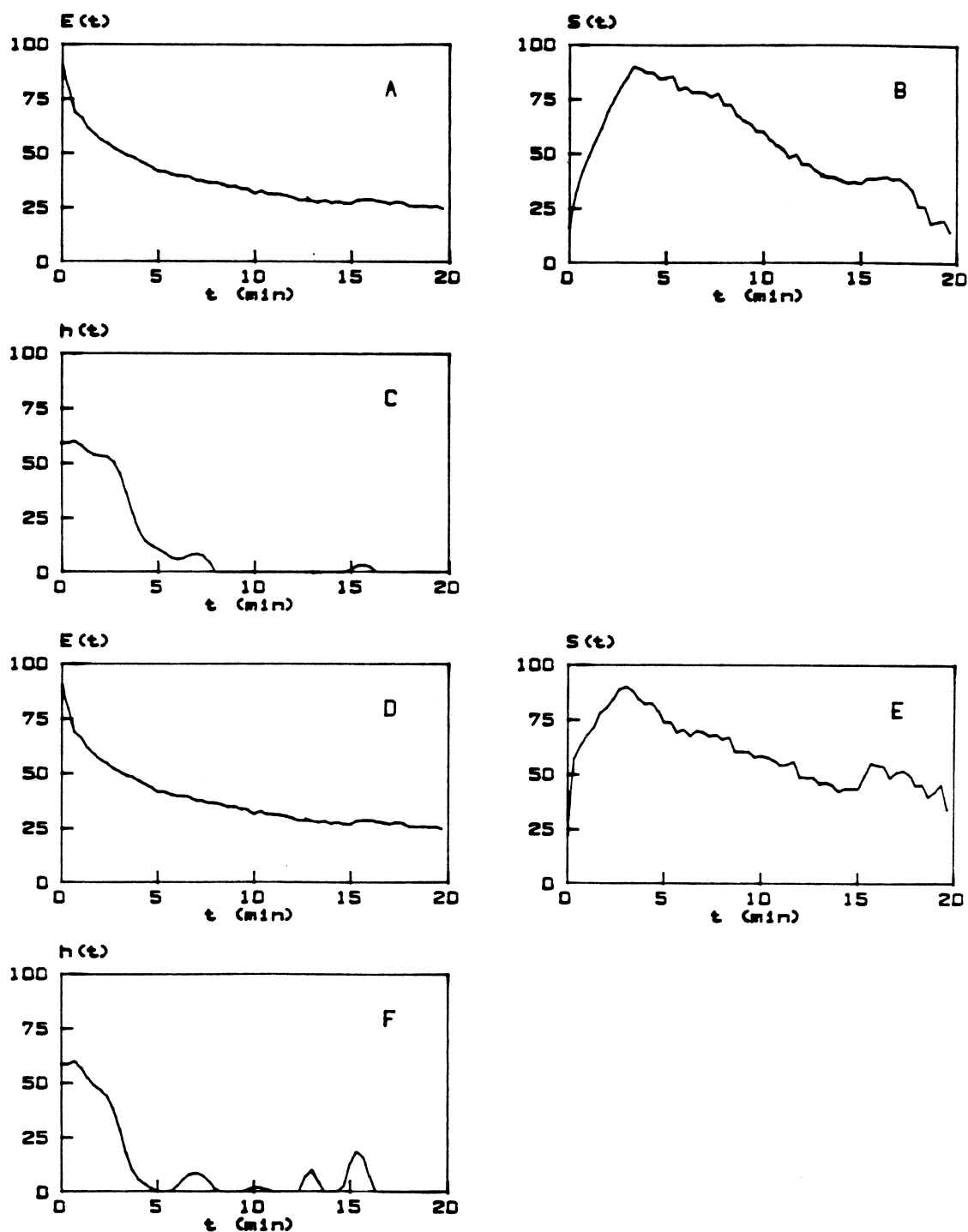


Figura 5.34. Paciente 33.

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

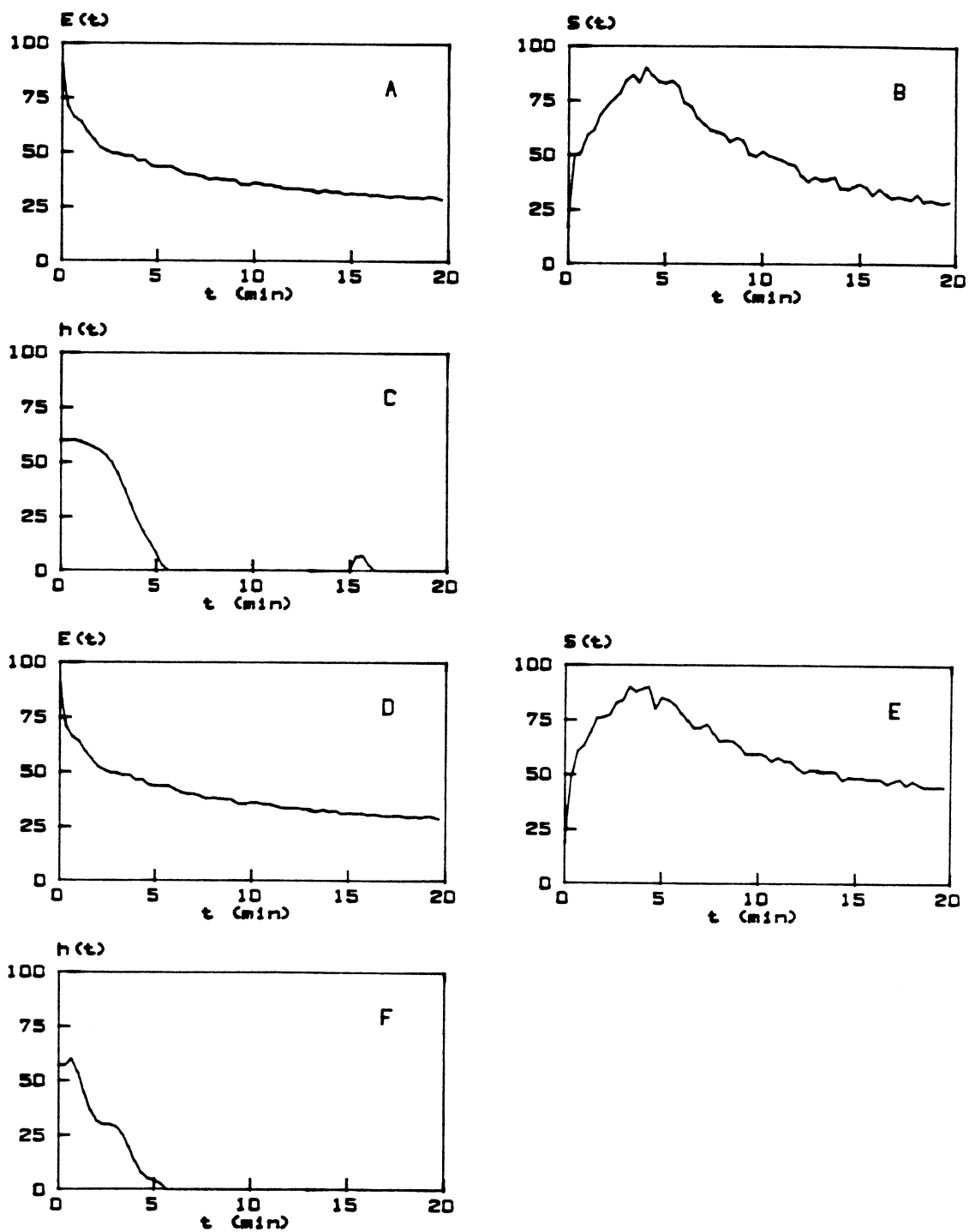


Figura 5.35. Paciente 34.

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

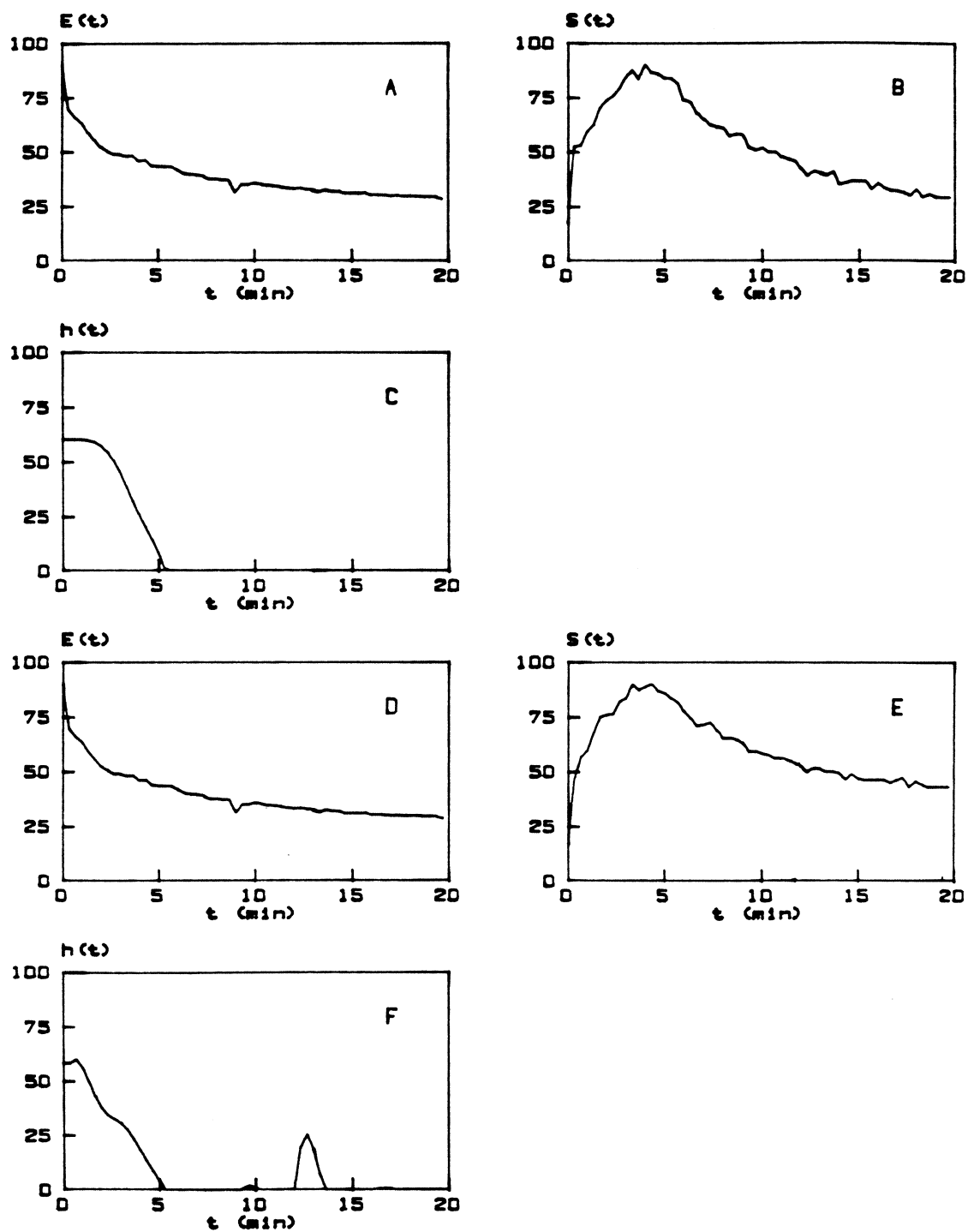


Figura 5.36. Paciente 35.

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

5.1.3.2. Obtención de los parámetros

Una vez efectuada la deconvolución, se calcularon sobre la FRR los parámetros correspondientes a la función renal relativa, el tiempo de tránsito intrarrenal y la dispersión de tiempos de tránsito. Los valores de los parámetros se muestran en la tabla 5.I. En ella aparecen además los valores de los parámetros obtenidos sobre el renograma. El número de paciente se identifica como CE (curva de aclaramiento plasmático). El riñón se indica con RE, 1 es el primer riñón y 2 el segundo. Los parámetros obtenidos del renograma son: el tiempo en el máximo (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 son: el valor de la FRR para $t=0$ (A), el tiempo de tránsito intrarrenal (C), el parámetro B (B) y la función renal relativa estimada a partir del parámetro A (fr).

CE	RE	TM	$A_{2/3}$ $\times 10^6$	fr_R	A $\times 10^{-2}$	fr	B	C
1	1	460	1.06	51	1.7	55	3.4	342
1	2	340	1.12		2.1		2.9	273
2	1	480	0.66	52	1.8	52	2.8	319
2	2	240	0.73		2.0		6.4	247
3	1	220	1.02	66	2.4	58	8.1	208
3	2	220	0.52		1.7		3.1	158
4	1	220	0.51	51	1.9	54	6.7	203
4	2	280	0.52		2.3		3.4	203
5	1	240	0.38	71	1.0	67	11.3	237
5	2	300	0.15		0.5		8.1	265
6	1	460	1.16	52	1.8	67	6.7	459
6	2	300	1.27		0.4		2.8	175
7	1	580	0.37	69	0.7	71	2.6	344
7	2	320	0.81		1.7		2.4	253
8	1	360	0.45	54	0.8	60	4.7	381
8	2	400	0.33		1.2		2.2	309
9	1	180	1.09	51	3.8	52	4.9	201
9	2	200	1.06		4.1		1.5	188
10	1	300	2.41	60	3.6	58	2.7	329
10	2	420	1.58		2.6		2.3	319
11	1	220	0.67	56	2.9	63	9.3	229
11	2	200	0.86		4.9		3.2	166
12	1	300	0.94	70	1.2	74	3.6	280
12	2	300	2.16		3.4		3.1	273
13	1	220	0.81	57	2.4	55	5.5	227
13	2	200	0.60		2.0		10.4	203
14	1	180	0.72	57	1.9	54	16.8	178
14	2	220	0.54		1.6		9.9	219
15	1	440	0.60	61	0.3	70	11.4	475
15	2	620	0.96		0.7		3.1	451
16	1	340	0.38	68	1.3	73	4.1	332
16	2	220	0.79		3.6		3.3	193
17	1	220	0.58	59	1.1	52	5.6	197
17	2	240	0.40		1.0		4.3	210
18	1	240	1.28	51	2.2	50	6.2	240
18	2	240	1.23		2.2		5.3	235
19	1	380	1.84	55	3.5	56	3.8	380
19	2	500	2.24		4.5		2.6	420
20	1	240	0.92	53	2.0	53	15.2	243
20	2	280	0.81		2.3		7.1	280
21	1	300	1.01	52	3.3	54	5.3	283
21	2	240	1.09		3.8		3.6	237
22	1	480	0.98	69	2.6	68	1.7	383
22	2	260	2.14		5.6		3.7	248

Cont.

CE	RE	TM	$A_{2/3}$ $\times 10^6$	fr_R	A $\times 10^{-2}$	fr	B	C
23	1	260	0.32	56	1.0	53	6.8	205
23	2	240	0.26		0.9		5.1	202
24	1	160	0.40	58	2.3	55	9.0	157
24	2	180	0.29		1.9		5.9	170
25	1	260	0.59	58	1.1	67	8.8	248
25	2	260	0.82		2.2		3.5	193
26	1	380	2.80	59	2.2	54	5.5	337
26	2	560	1.97		1.9		2.5	303
27	1	260	0.44	65	3.8	72	11.2	261
27	2	220	0.82		1.5		3.3	149
28	1	460	0.42	56	0.9	68	6.0	340
28	2	200	0.54		1.9		13.5	180
29	1	200	0.40	65	0.6	60	3.4	200
29	2	240	0.22		0.4		8.3	231
30	1	200	1.07	52	1.8	63	8.7	194
30	2	200	1.17		3.0		3.7	138
31	1	640	1.87	51	2.0	56	2.3	384
31	2	320	1.80		2.5		2.2	233
32	1	260	0.17	63	0.5	62	7.4	241
32	2	240	0.29		0.8		9.0	224
33	1	240	0.56	51	1.6	59	5.8	239
33	2	200	0.58		1.1		6.6	195
34	1	260	0.54	62	0.9	69	7.3	252
34	2	240	0.88		2.0		3.7	174
35	1	260	0.54	60	0.9	65	7.4	255
35	2	260	0.80		1.7		4.4	196

Tabla 5.I. Valores de los parámetros derivados de la FRR obtenidos al aplicar el algoritmo de deconvolución que incluye un filtro de Butterworth optimizado, y de los parámetros obtenidos directamente del renograma en estudios con $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$.

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 : Altura de la FRR para $t=0$ (s^{-1})

fr : Función renal relativa en % estimada a partir de A

B : Parámetro B

C : Tiempo de tránsito intrarrenal (s)

5.1.4. Discusión

Los resultados presentados en las figuras 5.2 a 5.36 muestran las FRR individualmente. En ellas se observa que las FRR tienen una morfología muy parecida a las obtenidas en los estudios efectuados con ^{131}I -Hippuran del apartado 4.1.3.1. En las curvas de aclaramiento plasmático se observa para el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ que el valor del primer punto se aproxima al valor del segundo punto. En el caso del ^{131}I -Hippuran, la diferencia entre los valores del primer y segundo punto era más acusada, lo que está de acuerdo con la menor extracción descrita para este trazador. Este efecto se manifiesta en el renograma en una subida más lenta hacia el máximo de actividad. La bajada a partir del máximo es menos acusada que en el caso del Hippuran. Al ser la relación señal/ruido más alta para el MAG_3 que para el Hippuran, el filtrado ha sido menor y las FRR calculadas tienen menos oscilaciones hacia valores negativos.

Los valores de los parámetros función renal relativa y tiempo de tránsito intrarrenal obtenidos para el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ (tabla 5.I) presentan valores similares a los obtenidos en el caso de utilizar ^{131}I -Hippuran (tabla 4.I). El tiempo de tránsito intrarrenal presenta un valor medio de 256 segundos.

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

5.2.1. Introducción

En este capítulo, se estudió la relación existente entre la función renal relativa y el tiempo de tránsito intrarrenal estimados sobre la FRR o directamente sobre el renograma en estudios con $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$.

5.2.2. Material y métodos

Se utilizó la misma población de 35 pacientes y 70 renogramas con $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ del apartado anterior. Una vez obtenidas las funciones de retención renales tras aplicar el algoritmo de deconvolución, se compararon 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). Se exigía que la función renal relativa fuese mayor que el 50%, de modo que si inicialmente salía menor se tomaba el valor complementario de 100. Los parámetros obtenidos directamente del renograma fueron la función renal relativa obtenida a partir del área hasta 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 $(A_{2/3})_1 / [(A_{2/3})_1 + (A_{2/3})_2]$ y el tiempo en el máximo (TM) como índice del tiempo de tránsito renal. También en este caso se exigió que la función renal relativa fuese mayor que el 50%. Para efectuar el cálculo del tiempo en el máximo se realizaron tres suavizados con un filtro de tres puntos en el renograma. La comparación de parámetros se realizó mediante regresión lineal.

5.2.3. Resultados

5.2.3.1. Comparación entre las estimas de la función renal relativa

En la figura 5.37, se muestra el resultado de la comparación efectuada la función renal relativa calculada sobre el renograma y sobre la FRR. El coeficiente de correlación r fue de 0.67, siendo el valor de la pendiente de la recta de regresión igual a 0.58 y la ordenada en el origen igual a 22.8. Los valores de la función renal relativa están en el intervalo comprendido entre el 50% y el 60%, en la mayor parte de los casos, y entre el 60% y el 70% en prácticamente el resto de los pacientes. Esto indica que la población analizada era, en la mayor parte de los casos, normal respecto a este parámetro.

En muchos casos los valores de la función renal relativa son distintos según que la estima se realice sobre la FRR o sobre el renograma. Se observa también que en algunos casos estos valores son muy distintos. Así, en el paciente 6 el valor de la función renal relativa determinado sobre el renograma es del 52%, en tanto que el valor obtenido en la FRR es del 67%. El paciente 25 presenta un valor de la función relativa de 58% en el renograma y un 67% en la FRR. El paciente 3 presenta un valor del 66% en el renograma y un 58% en la FRR. Estos casos disminuyen el grado de correlación.

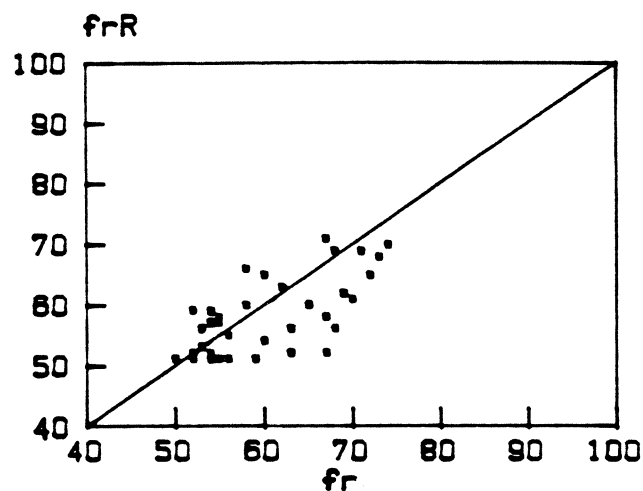


Figura 5.37. Comparación entre los parámetros fr_R y fr calculado con el algoritmo de deconvolución que incluye un filtro de Butterworth optimizado.

Los valores medios de la función renal relativa, determinada sobre el renograma y a partir de la FRR, son del 58% para el parámetro determinado sobre el renograma y del 61% para el parámetro derivado de la FRR.

5.2.3.2. Comparación entre las estimas del tiempo de tránsito

La comparación entre el tiempo al máximo (TM) del renograma y el tiempo de tránsito intrarrenal (TTI) de la FRR, se realizó mediante regresión lineal. El coeficiente de correlación r fue de 0.85, con los parámetros de la recta de regresión de 1.22 para la pendiente y -15.2s para la ordenada en el origen.

Existe una baja correlación entre ambos parámetros y los valores de los parámetros de la recta de regresión, muestran una sobrevaloración del tiempo de tránsito renal por parte del TM en relación al TTI, sobre todo para los tiempos de tránsito más largos. Estos resultados confirman numéricamente la sobrevaloración de TM respecto a TTI que se observa claramente en la figura 5.38, en la que la mayoría de puntos están situados por encima de la recta de identidad existiendo esta sobrevaloración a lo largo de los diferentes tiempos de tránsito. En los renogramas con TM elevado (por encima de los 400 segundos) se observa una gran

sobrevaloración de dicho parámetro en relación al TTI.

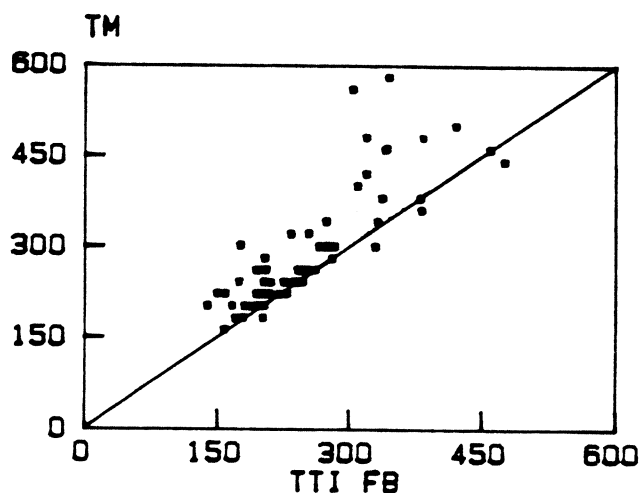


Figura 5.38. Comparación entre los parámetros TM y TTI calculado con el filtro de Butterworth optimizado.

La comparación de los valores medios del tiempo de tránsito, determinado sobre el renograma y en la FRR, presenta una diferencia de 41 segundos. El valor promedio del TM es de 297 segundos y el valor medio del TTI es de 256 segundos.

En la figura 5.39, se muestra la distribución de los tiempos de tránsito para el $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$. En el eje de abscisas aparecen los distintos valores de tiempo de tránsito agrupados cada 60 segundos a partir de los 140 segundos hasta los 560 segundos. En el eje de ordenadas aparece el número de casos en cada intervalo de tiempo considerado. Se observa que todos los valores de TTI están comprendidos entre 200 segundos y 500 segundos. Ambas

distribuciones de valores se parecen notablemente. Para la estima efectuada con el TTI aparece un desplazamiento hacia los tiempos de tránsito más cortos en relación a la estima realizada mediante el TM, como indica el valor medio de ambas distribuciones: 256 segundos para el TTI y 297 segundos para el TM. Existe una diferencia de 41 segundos entre ambos parámetros.

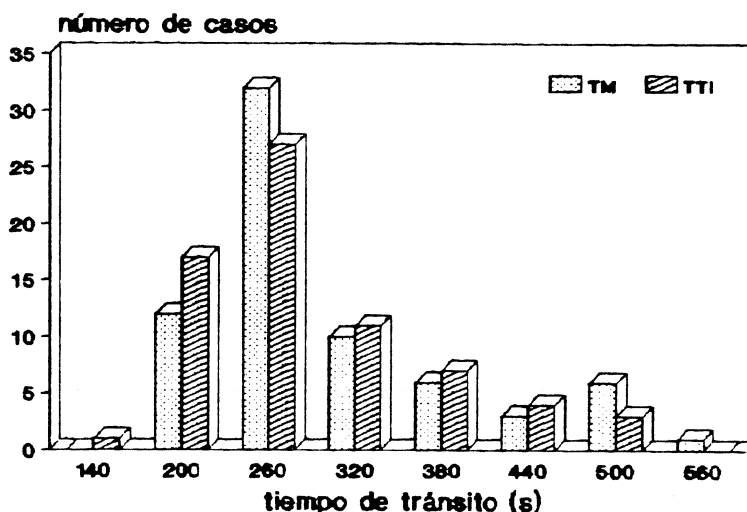


Figura 5.39. Histograma que muestra la distribución de tiempos de tránsito intrarrenal determinados en la FRR y en el renograma. Trazador: $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$

5.2.4. Discusión

5.2.4.1. Valoración de la comparación de las funciones renales relativas

El valor del coeficiente de correlación obtenido en el estudio de las 35 funciones renales relativas

correspondientes a los 35 pacientes fue de r igual a 0.67. La determinación del porcentaje de la función renal realizado con ambos parámetros concentra los valores preferentemente en un intervalo considerado de normalidad situado entre el 50% y el 60%. El resto de los casos corresponden a funciones relativas fuera de los márgenes de normalidad. En general, la función renal relativa determinada en el renograma aparece por debajo de la recta identidad, lo cual puede explicarse por el efecto que produce en el cálculo de la fr la dispersión del tiempo de tránsito y la presencia de la fase vascular.

El efecto de la dispersión de los tiempos de tránsito se refleja en valores discordantes de la estima, que se agudiza en los casos en que el tiempo de tránsito es muy corto. En algunos casos, la determinación mediante el porcentaje estimado a partir del renograma mostró valores comprendidos entre el 50% y el 60%, en tanto los estimados en la FRR fueron superiores al 60%. Así, en el paciente 6 se obtiene una función renal relativa del 52% en el renograma y del 67% en la FRR. En la figura 5.7, se observa que existe una marcada diferencia entre el valor del tiempo de tránsito estimado en el renograma y el obtenido de la FRR, ya que el valor del TM es muy superior al del TTI . La morfología de la función de retención correspondiente al riñón con un tiempo de tránsito más corto no presenta la meseta que correspondería a los dos tercios del tiempo de tránsito, por

lo que la hipótesis de que el cociente de áreas en el renograma aproxime el cociente de alturas de la FRR ya no se cumple. En consecuencia la estima de la función renal relativa a partir del renograma ya no es correcta y aparece esta discordancia en la determinación de la función renal relativa en ambas curvas. En el paciente 25 la función renal relativa en el renograma es del 58% y en la FRR del 67%. La morfología de la FRR presenta el mismo aspecto que en el caso anterior.

Debido a que al efectuar la sustracción de actividad extrarrenal sobre los renogramas de $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$, ésta se realiza considerando un área de interés que corresponde principalmente a la contribución tisular, se produce una corrección que no corresponde a toda la actividad extrarrenal. La actividad extrarrenal contiene una componente tisular y una componente vascular. Esta última no se elimina con la corrección de fondo, por lo que es una fuente de error en el cálculo de la función renal relativa a partir del renograma. Esta componente vascular que, en general, será igual para los dos riñones hace que la estima de la función renal relativa sobre el renograma proporcione valores inferiores a los reales. Este factor es determinante en la subvaloración y explica que los puntos de la figura 5.38 estén, en general, por debajo de la recta de identidad.

La comparación de las medias apareando los datos se

realizó mediante la prueba de la t de Student, siendo el valor de t de 2.35 y el de p menor de 0.025, es decir existen diferencias significativas entre los valores de ambos parámetros.

Cabría preguntarse por qué los resultados para ^{131}I -Hippuran presentaban una correlación más alta siendo de esperar peores resultados al ser la relación señal/ruido menor. Pensamos que la explicación está en que la extracción renal de trazador es menor que en el caso del ^{131}I -Hippuran, por lo que la presencia de la contribución vascular es mayor en el renograma. En consecuencia, este factor tienen mayor importancia ya que como se ha comentado, esta actividad no es corregida al efectuar la sustracción de la actividad fundamentalmente tisular.

Para valorar este hecho, se efectuó la reconvolución entre la curva de aclaramiento plasmático y la FRR calculada mediante el algoritmo de deconvolución. Al efectuar la reconvolución, se eliminó el primer punto de la FRR, que corresponde a la fase vascular. Por lo tanto, el renograma obtenido presentará una correcta sustracción de actividad extrarrenal. Sobre el renograma obtenido se determinó la función renal relativa para cada paciente.

En la figura 5.40, se muestra la comparación efectuada entre la función renal relativa calculada sobre el

renograma después de realizar la reconvolución, y la calculada mediante el algoritmo de deconvolución. El coeficiente de correlación r fue de 0.93, siendo los parámetros de la recta de regresión pendiente igual a 0.95 y ordenada en el origen igual a 2.5. Se comprueba que tras efectuar la reconvolución, la estima de la función renal relativa calculada sobre el renograma está bien correlacionada con los valores obtenidos a partir de la FRR.

La estima de la función renal relativa a partir del renograma corregido de la actividad extrarrenal, no presenta sobrevaloración en relación a la estima efectuada a partir de la FRR en la mayor parte de los casos.

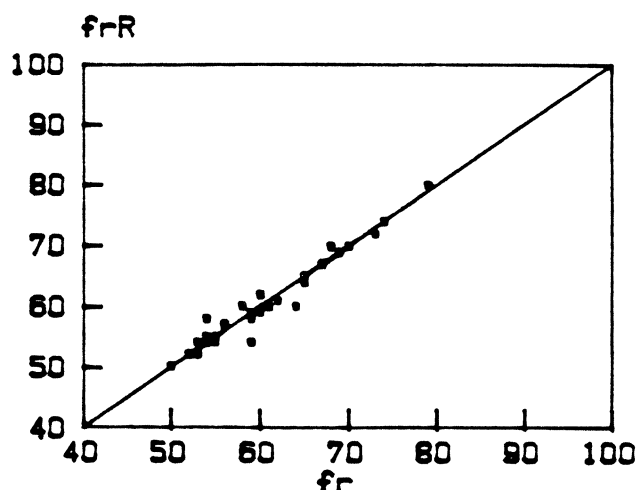


Figura 5.40. Comparación entre los parámetros fr_R y fr después de efectuar la reconvolución.

5.2.4.2. Valoración de la comparación del tiempo de tránsito

La comparación entre el tiempo en el máximo de actividad del renograma (TM) y el tiempo de tránsito intrarrenal (TTI) de la FRR se realizó mediante regresión lineal. Los resultados obtenidos muestran una sobrevaloración del tiempo de tránsito intrarrenal si éste es estimado como tiempo al máximo.

El coeficiente de correlación es $r=0.85$. El valor de la pendiente de la recta de regresión, por encima de la recta de identidad ($a=1.22$), indica esta sobrevaloración del tiempo de tránsito intrarrenal. Para tiempos de tránsito largos (estimados como TM) con valores situados por encima de los 400 segundos dicha sobreestimación es mayor en algunos casos. El valor del parámetro b fue de -15.2 s.

Los casos que superan los 400 segundos presentan anomalías en el renograma de tipo obstructivo, por este motivo existe una mala determinación del TM ya que el valor máximo puede estar desplazado de su valor al aparecer varios puntos consecutivos con valores parecidos. Esto indica que para los tiempos de tránsito que corresponden a renogramas con diferentes grados de obstrucción, la estima del tiempo de tránsito realizada como tiempo en el máximo sobre el renograma sobrevalora el valor del tiempo de tránsito intrarrenal.

La comparación de los valores medios apareados se realizó mediante la prueba de la *t* de Student, obteniéndose una *t* de 5.59 y un valor de *p* menor de 0.025, por lo que existen diferencias claramente significativas entre los valores de ambos parámetros.

Esta sobrevaloración del TM en relación al TTI, tal como se describió en el capítulo 4, se relaciona con los valores de las constantes de tiempo de las exponenciales de la curva de entrada al sistema y a la dispersión de los tiempos de tránsito, siendo esta dispersión muy variable en los estudios renográficos.

5.2.4.3. Comparación de los trazadores

Comparación de las estimas de la función renal relativa

Para ambos trazadores, la estima de la función renal relativa realizada como cociente de valores de la FRR, para un tiempo igual a cero, presenta la ventaja de poder estandarizar los estudios renográficos. En el caso del $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$, se ha visto que la estima sobre el renograma no es correcta debido a la presencia de la actividad extrarrenal de tipo vascular. Para el $^{131}\text{I-Hippuran}$, la estima es mejor ya que al tener una mayor extracción, no es tan acusado el efecto que produce la actividad extrarrenal

vascular y al efectuar la sustracción, se realiza más correctamente. Así pues, para el Hippuran puede estimarse la función renal relativa sobre el renograma con menos error que en el caso del MAG_3 .

Si la estima se realiza sobre la FRR, obtenida según el algoritmo de deconvolución propuesto, ésta se realiza correctamente ya que se ha eliminado la influencia de la actividad extrarrenal. Para ambos trazadores se determina la función renal relativa de manera correcta, si bien en el caso del MAG_3 por tener una relación señal/ruido unas tres veces mayor que el Hippuran precisa un filtrado menor. Como se vió en capítulo de simulación numérica, para el MAG_3 , se conseguía una mejor determinación de la FRR ya que presentaba valores del error RMS que eran la mitad que los que presentaba el Hippuran.

Comparación de las estimas del tiempo en el máximo

Los valores medios de las distribuciones de TM para los dos trazadores presentan una diferencia de 7 segundos. En la figura 5.41, aparecen las distribuciones de valores, el valor medio para el $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ es de 297 segundos y para el $^{131}\text{I-Hippuran}$ es de 290 segundos. La distribución de valores es muy similar para ambos trazadores.

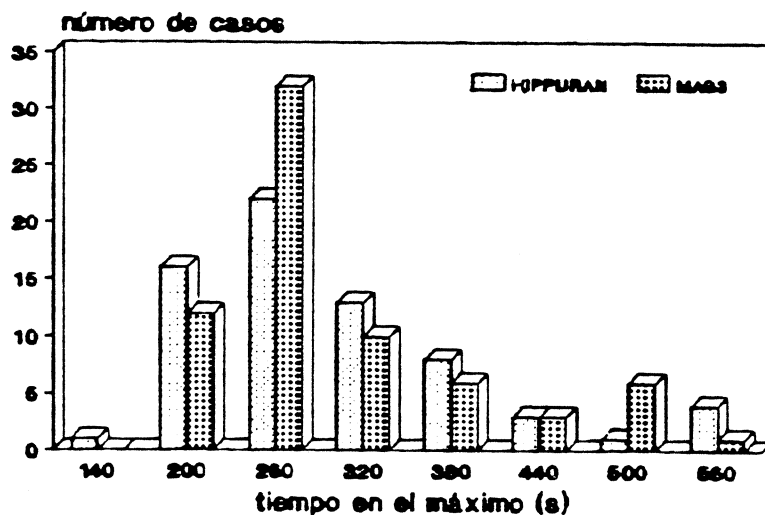


Figura 5.41. Histograma que muestra la distribución de tiempos en el máximo determinados en el renograma para ambos trazadores.

Las diferencias entre los valores medios del TM entre ambos trazadores concuerdan con otros trabajos realizados en el Hospital Clínic i Provincial de Barcelona (Catafau et al., 1988) de renografía con doble trazador, ^{131}I -Hippuran y $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$, en que se obtenía para el ^{131}I -Hippuran un valor medio de 344 segundos y para el $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$ un valor medio de 352 segundos, con un coeficiente de correlación $r=0.85$ y sin diferencias significativas entre ambos valores medios.

Comparación de las estimas del tiempo de tránsito intrarrenal

Asimismo, se ha estudiado para ambos trazadores $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ y $^{131}\text{I-Hippuran}$ la distribución de tiempos de tránsito renal que presentaban las dos poblaciones consideradas.

La comparación entre las distribuciones de TTI para los dos trazadores muestra una diferencia de 26 segundos entre los valores medios. En la figura 5.42 aparecen las distribuciones de valores, el valor medio para el $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ es de 256 segundos y para el $^{131}\text{I-Hippuran}$ es de 230 segundos. Se observa una gran similitud en la distribución de valores para ambos trazadores.

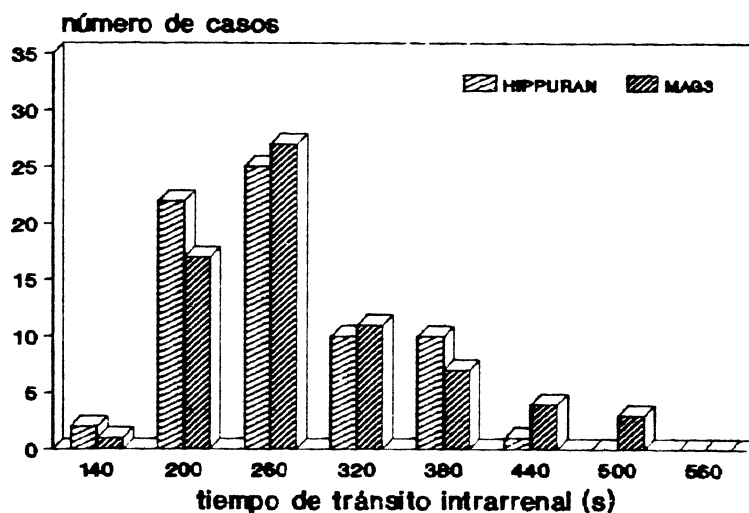


Figura 5.42. Histograma que muestra la distribución de tiempos de tránsito intrarrenal determinados en la FRR para ambos trazadores.