

서울아산병원 임상약리학과 전공의 한성필

R을 통한 비구획분석: 실습



Contents

1	서론	1
1.1	설치	1
1.2	R에 대하여	2
1.3	자료 탐색	2
1.4	파라메터의 의미	4
2	패키지: NonCompart	7
2.1	sNCA()	7
2.2	tblNCA(): 전체 대상자 비구획 분석	8
2.3	기술통계 (Descriptive statistics)	9
3	패키지: ncar	11
3.1	txtNCA()	11
3.2	pdfNCA()	13
3.3	rtfNCA()	13
4	패키지: pkrr	15
4.1	plotPK()	15
5	기타 사항	17
5.1	shiny 앱	17
5.2	지원	17
5.3	고지	18



1

서론

약동학 분야에서 가장 간단하고도 객관적이며 널리 쓰이는 방법은 비구획분석 (Non-compartmental analysis, NCA)입니다. 미국의 FDA (*Food and Drug Administration*)를 비롯한 대부분의 규제기관에서는 NCA하는 소프트웨어를 규정하고 있지 않아, 상용 소프트웨어를 사용하지 않고 약동학적 지표를 구하는 것을 허용하고 있습니다. 따라서 무료로 누구나 사용할 수 있는 R 패키지를 사용하여 비구획분석을 통한 약동학적 주요 지표를 구할 수 있습니다.

- NonCompart (Bae 2017b)
 - ncar (Bae 2017a)
 - pkr (Bae and Lee 2017)
-

1.1 설치

우선 R을 설치합니다. R은 아래 링크¹에서 다운로드 받을 수 있습니다.

R을 실행한 후, 콘솔 창에서 비구획분석을 위한 패키지를 설치하는 방법은 다음과 같습니다. 홀따옴표 등의 인용 부호에 주의하세요.

```
install.packages('NonCompart')
install.packages('ncar')
install.packages('pkr')
```

설치는 한번만 하면 되지만, 비구획분석을 위해서는 매 세션마다 패키지를 불러오기해야 합니다.

```
library(NonCompart)
library(ncar)
library(pkr)
```

아래 두 패키지는 비구획분석과는 관계없지만 자료 처리 혹은 그림 등을 그리는 데 도움을 줍니다.

¹<https://cran.r-project.org/>

```
# install.packages(c('tidyverse', 'knitr')) # 설치 안되어 있으면 맨앞의 #을 지우고 설치.
library(tidyverse) # For presentation only, dplyr, tidyverse, ggplot2
library(knitr) # For reports
```

도움이 필요할때는 맨 앞에 물음표를 붙여서 콘솔창에 입력하거나 `help()` 함수를 사용합니다.

```
?NonCompart
help(tblNCA)
```

1.2 R에 대하여

R (R Core Team 2017)은 통계 소프트웨어입니다. 굉장히 유용한 소프트웨어이지만 이에 대해 여기서 자세히 설명하긴 힘듭니다. R에 대한 많은 책들을 bookdown.org²에서 무료로 읽을 수 있습니다. Coursera³에서 무료 온라인 강의를 들을 수 있습니다.

1.3 자료 탐색

자료의 첫 10개 (Table 1.1) 혹은 마지막 10개 관찰값만 보고 싶으면 다음을 입력합니다. 대상자 번호가 첫 열에 나와있고 시간 순서대로 혈장에서 측정한 테オ필린의 농도가 나와있습니다.

```
head(Theoph, n=10)
tail(Theoph, n=10)
```

그럼을 그려서 대략적인 자료의 모습을 파악합니다. (Figure 1.1)

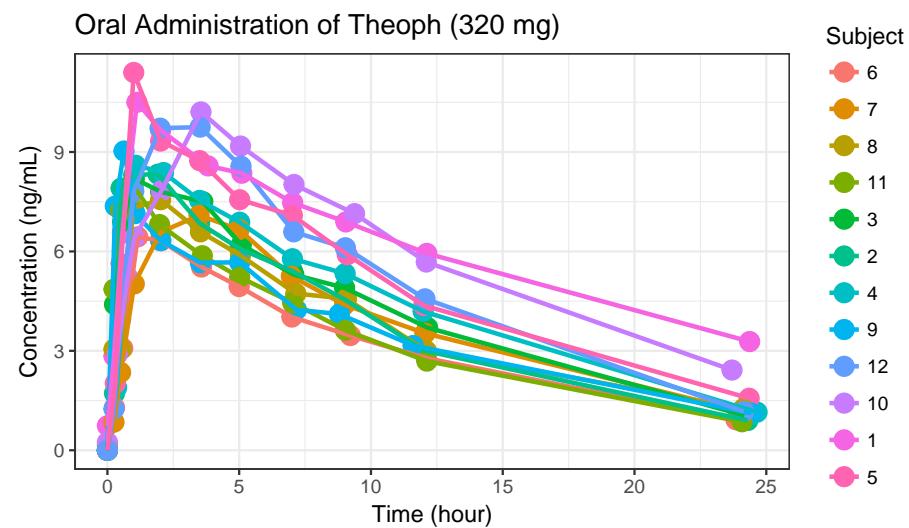
```
ggplot(Theoph, aes(Time, conc, group = Subject, color = Subject)) +
  geom_point(size = 4) +
  geom_line(size = 1) +
  theme_bw() +
  labs(title = 'Oral Administration of Theoph (320 mg)',
       x = 'Time (hour)', y = 'Concentration (ng/mL)')
```

²<https://bookdown.org>

³<https://coursera.com>

TABLE 1.1 Theoph 자료의 첫 10개 관찰값

Subject	Wt	Dose	Time	conc
1	79.6	4.02	0.00	0.74
1	79.6	4.02	0.25	2.84
1	79.6	4.02	0.57	6.57
1	79.6	4.02	1.12	10.50
1	79.6	4.02	2.02	9.66
1	79.6	4.02	3.82	8.58
1	79.6	4.02	5.10	8.36
1	79.6	4.02	7.03	7.47
1	79.6	4.02	9.05	6.89
1	79.6	4.02	12.12	5.94

**FIGURE 1.1** Concentration-time curves of oral administration of Theoph ($N = 12$)

1.4 파라메터의 의미

비구획분석 시 여러 파라메터가 나오며 약어로 표현하는 경우가 많습니다. 또한 소프트웨어마다 약어가 상이하기 때문에 자주 그 의미를 찾아볼 필요가 있습니다. 콘솔창에 다음을 입력합니다.

```
?ncar::txtNCA()
ncar::RptCfg
```

ncar::RptCfg의 일부를 첨부합니다. (Table 1.2) PPTESTCD는 NonCompart 패키지에서 출력하는 파라메터 이름이며, CDISC SDTM PPTESTCD (Parameter Short Name)⁴와 같은 값입니다. WNL 열은 Certara Phoenix WinNonLin에서 구한 파라메터 이름입니다.

TABLE 1.2: Description of NonCompart parameters

PPTESTCD	Description (WNL)
b0	Intercept (b0)
TLAG	Time Until First Nonzero Conc (Tlag)
MRTEVLST	MRT Extravasc to Last Nonzero Conc (MRTlast)
MRTEVIFO	MRT Extravasc Infinity Obs (MRTINF_obs)
MRTEVIFP	MRT Extravasc Infinity Pred (MRTINF_pred)
VZFO	Vz Obs by F (Vz_F_obs)
VZFP	Vz Pred by F (Vz_F_pred)
CLFO	Total CL Obs by F (Cl_F_obs)
CLFP	Total CL Pred by F (Cl_F_pred)
C0	Initial Conc (C0)
AUCPBEO	AUC %Back Extrapolation Obs (AUC_.Back_Ext_obs)
AUCPBEP	AUC %Back Extrapolation Pred (AUC_.Back_Ext_pred)
CMAX	Max Conc (Cmax)
CMAXD	Max Conc Norm by Dose (Cmax_D)
TMAX	Time of CMAX (Tmax)
CLST	Last Nonzero Conc (Clast)
TLST	Time of Last Nonzero Conc (Tlast)
CLSTP	Last Nonzero Conc Pred (Clast_pred)
LAMZHL	Half-Life Lambda z (HL_Lambda_z)

⁴다음과 같이 CDISC note에 표시되어 있습니다. ‘Short name of the pharmacokinetic parameter. It can be used as a column name when converting a dataset from a vertical to a horizontal format. The value in PPTESTCD cannot be longer than 8 characters, nor can it start with a number (e.g., “1TEST”). PPTESTCD cannot contain characters other than letters, numbers, or underscores. Examples: “AUCALL”, “TMAX”, “CMAX”’ <https://wiki.cdisc.org/pages/viewpage.action?pageId=42309513>

LAMZ	Lambda z (Lambda_z)
LAMZLL	Lambda z Lower Limit (Lambda_z_lower)
LAMZUL	Lambda z Upper Limit (Lambda_z_upper)
LAMZNPT	Number of Points for Lambda z (No_points_lambda_z)
CORRXY	Correlation Between TimeX and Log ConcY (Corr_XY)
R2	R Squared (Rsq)
R2ADJ	R Squared Adjusted (Rsq_adjusted)
AUCLST	AUC to Last Nonzero Conc (AUClast)
AUCALL	AUC All (AUCall)
AUCIFO	AUC Infinity Obs (AUCINF_obs)
AUCIFOD	AUC Infinity Obs Norm by Dose (AUCINF_D_obs)
AUCPEO	AUC %Extrapolation Obs (AUC_Extrap_obs)
AUCIFP	AUC Infinity Pred (AUCINF_pred)
AUCIFPD	AUC Infinity Pred Norm by Dose (AUCINF_D_pred)
AUCPEP	AUC %Extrapolation Pred (AUC_Extrap_pred)
AUMCLST	AUMC to Last Nonzero Conc (AUMClast)
AUMCIFO	AUMC Infinity Obs (AUMCINF_obs)
AUMCPEO	AUMC %Extrapolation Obs (AUMC_Extrap_obs)
AUMCIFP	AUMC Infinity Pred (AUMCINF_pred)
AUMCPEP	AUMC % Extrapolation Pred (AUMC_Extrap_pred)
MRTIVLST	MRT Intravasc to Last Nonzero Conc (MRTlast)
MRTIVIFO	MRT Intravasc Infinity Obs (MRTINF_obs)
MRTIVIFFP	MRT Intravasc Infinity Pred (MRTINF_pred)
VZO	Vz Obs (Vz_obs)
VZP	Vz Pred (Vz_pred)
CLO	Total CL Obs (Cl_obs)
CLP	Total CL Pred (Cl_pred)
VSSO	Vol Dist Steady State Obs (Vss_obs)
VSSP	Vol Dist Steady State Pred (Vss_pred)



2

패키지: NonCompart

2.1 sNCA()

한명의 대상자에 대해 비구획 분석을 시행합니다.

```
# For one subject
x = Theoph[Theoph$Subject=="1", "Time"]
y = Theoph[Theoph$Subject=="1", "conc"]

sNCA(x, y, dose=320, doseUnit="mg", concUnit="mg/L", timeUnit="h")

##          b0        CMAX      CMAXD       TMAX      TLAG
## 2.3687851 10.5000000  0.0328125 1.1200000 0.0000000
##          CLST      CLSTP       TLST     LAMZHL      LAMZ
## 3.2800000 3.2801465 24.3700000 14.3043776 0.0484570
##          LAMZLL    LAMZUL   LAMZNPT    CORRXY      R2
## 9.0500000 24.3700000 3.0000000 -0.9999999 0.9999997
##          R2ADJ    AUCLST    AUCALL    AUCIFO    AUCIFOD
## 0.9999995 148.9230500 148.9230500 216.6119330 0.6769123
##          AUCIFP    AUCIFPD   AUCPEO    AUCPEP    AUMCLST
## 216.6149558 0.6769217 31.2489169 31.2498763 1459.0711035
##          AUMCIFO    AUMCIFF   AUMCPEO    AUMCPEP    VZFO
## 4505.5348194 4505.6708646 67.6160287 67.6170065 30.4867482
##          VZFP      CLFO      CLFP     MRTEVLST    MRTEVIFO
## 30.4863228 1.4772963 1.4772757  9.7974834 20.8000305
##          MRTEVIFP
## 20.8003683
## attr(,"units")
## [1] ""           "mg/L"        "mg/L/mg"    "h"          "h"
## [6] "mg/L"        "mg/L"        "h"          "h"          "/h"
## [11] "h"           "h"           ""           ""           ""
## [16] ""           "h*mg/L"      "h*mg/L"    "h*mg/L"    "h*mg/L/mg"
## [21] "h*mg/L"      "h*mg/L/mg"  "%"          "%"          "h2*mg/L"
## [26] "h2*mg/L"     "h2*mg/L"    "%"          "%"          "L"
## [31] "L"           "L/h"         "L/h"        "h"          "h"
```

```
## [36] "h"
```

이때의 그림은 다음과 같습니다. (Figure 2.1)

```
ggplot(Theoph %>% dplyr::filter(Subject == 1),
       aes(Time, conc, group = Subject, color = Subject)) +
  geom_point(size = 4) + geom_line(size = 1) +
  theme_minimal() +
  labs(title = 'Oral Administration of Theoph (320 mg) (Subject 1)',
       x = 'Time (hour)', y = 'Concentration (ng/mL)')
```

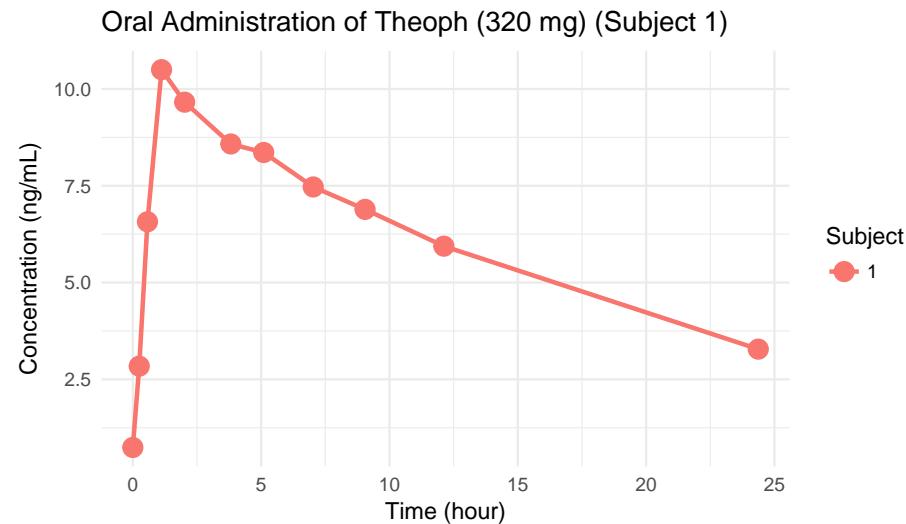


FIGURE 2.1 Individual concentration-time curves of oral administration of Theoph (Subject 1)

2.2 tblNCA(): 전체 대상자 비구획 분석

가장 많이 쓰는 함수입니다! NonCompart 패키지의 핵심적인 기능입니다. 아래의 코드를 R의 콘솔창에 넣어보세요. 테오필린 경구 투여시의 비구획 분석입니다.

```
Theoph_tblNCA <- tblNCA(Theoph, key="Subject", dose=320, concUnit="mg/L")
```

결과는 matrix 형태인데 너무 길기 때문에 핵심적인 일부 파라메터 (C_{max} , T_{max} , AUC_{last})만 표시할 수도 있습니다.

2.3 기술통계 (Descriptive statistics)

9

```
Theoph_tblNCA_selected <- Theoph_tblNCA[, c('Subject', 'CMAX', 'TMAX', 'AUCLST')]  
Theoph_tblNCA_selected
```

```
##      Subject CMAX    TMAX   AUCLST  
## [1,] "1"     "10.5"  "1.12" "148.92305"  
## [2,] "2"     "8.33"  "1.92" "91.5268"  
## [3,] "3"     "8.2"   "1.02" "99.2865"  
## [4,] "4"     "8.6"   "1.07" "106.7963"  
## [5,] "5"     "11.4"  "1"    "121.2944"  
## [6,] "6"     "6.44"  "1.15" "73.77555"  
## [7,] "7"     "7.09"  "3.48" "90.7534"  
## [8,] "8"     "7.56"  "2.02" "88.55995"  
## [9,] "9"     "9.03"  "0.63" "86.32615"  
## [10,] "10"    "10.21" "3.55" "138.3681"  
## [11,] "11"    "8"     "0.98" "80.0936"  
## [12,] "12"    "9.75"  "3.52" "119.9775"
```

인도메타신 정맥 투여시의 비구획 분석입니다. 함수인자 `adm`을 `infusion`으로 바꾼 것을 볼 수 있고 `dur`가 추가된 것을 볼 수 있습니다.

```
Indometh_tblNCA <- tblNCA(Indometh, key="Subject", colTime="time", colConc="conc", dose=25,  
                           adm="Infusion", dur=0.5, concUnit="mg/L")
```

역시 핵심적인 일부 파라메터 (C_{max} , T_{max} , AUC_{last})만 표시할 수도 있습니다.

```
Indometh_tblNCA_selected <- Indometh_tblNCA[, c('Subject', 'CMAX', 'TMAX', 'AUCLST')]  
Indometh_tblNCA_selected
```

```
##      Subject CMAX    TMAX   AUCLST  
## [1,] "1"     "1.5"   "0.25" "1.74125"  
## [2,] "2"     "2.03"  "0.25" "2.9325"  
## [3,] "3"     "2.72"  "0.25" "2.93375"  
## [4,] "4"     "1.85"  "0.25" "2.4775"  
## [5,] "5"     "2.05"  "0.25" "1.95375"  
## [6,] "6"     "2.31"  "0.25" "2.8725"
```

2.3 기술통계 (Descriptive statistics)

R에서는 필요에 따라서 자신만의 함수를 만들 수도 있습니다. 아래 두줄을 실행하면 `desc_tblNCA()` 함수를 사용하여 기술통계량을 쉽게 구할 수 있습니다. (Table 2.1 and 2.2)

TABLE 2.1 Descriptive statistics of selected PK parameters of Theoph oral administration

column	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range
Subject	12	6.500000	3.605551	6.50000	6.5000	4.447800	1.00000	12.000	11.0000
CMAX	12	8.759167	1.472959	8.46500	8.7270	1.623447	6.44000	11.400	4.9600
TMAX	12	1.788333	1.112408	1.13500	1.7280	0.489258	0.63000	3.550	2.9200
AUCLST	12	103.806775	23.645216	95.40665	102.2983	19.794711	73.77555	148.923	75.1475

TABLE 2.2 Descriptive statistics of selected PK parameters of Indometh IV infusion

column	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skewness
Subject	6	3.500000	1.8708287	3.500	3.500000	2.2239000	1.00000	6.00000	5.0000	0.00000
CMAX	6	2.076667	0.4135537	2.040	2.076667	0.3409980	1.50000	2.72000	1.2200	0.17774
TMAX	6	0.250000	0.0000000	0.250	0.250000	0.0000000	0.25000	0.25000	0.0000	Neg
AUCLST	6	2.485208	0.5267325	2.675	2.485208	0.3826961	1.74125	2.93375	1.1925	-0.36950

```
desc_tblNCA <- function(tblNCA){as.data.frame(tblNCA) %>%
  mutate_all(function(x) as.numeric(as.character(x))) %>% broom::tidy()}

desc_tblNCA(Theoph_tblNCA_selected)
desc_tblNCA(Indometh_tblNCA_selected)
```

3

패키지: ncar

보고서를 만드는 패키지입니다. 현재 설정된 working directory에 결과 파일이 생성됩니다.

3.1 txtNCA()

txtNCA()를 통해서 다음 결과를 얻을 수 있습니다.

```
txtNCA(Theoph[Theoph$Subject=="1", "Time"],  
        Theoph[Theoph$Subject=="1", "conc"],  
        dose=320, doseUnit="mg", concUnit="mg/L", timeUnit="h")  
  
## [1] "NONCOMPARTMENTAL ANALYSIS REPORT"  
## [2] "Package version 0.3.7 (2017-08-16 KST)"  
## [3] "R version 3.4.3 (2017-11-30)"  
## [4] "  
## [5] "Date and Time: 2017-12-05 09:32:48 NA"  
## [6] "  
## [7] "Calculation Setting"  
## [8] "-----"  
## [9] "Drug Administration: Extravascular"  
## [10] "Observation count excluding trailing zero: 11"  
## [11] "Dose at time 0: 320 mg"  
## [12] "AUC Calculation Method: Linear-up Linear-down"  
## [13] "Weighting for lambda z: Uniform (Ordinary Least Square, OLS)"  
## [14] "Lambda z selection criterion: Heighest adjusted R-squared value with precision=1e-05"  
## [15] "  
## [16] "  
## [17] "Fitting, AUC, AUMC Result"  
## [18] "-----"  
## [19] "Time Conc. Pred. Residual AUC AUMC"  
## [20] "-----"  
## [21] "0.0000 0.7400 0.0000 0.0000"
```

```

## [22] "      0.2500      2.8400          0.4475    0.0888"
## [23] "      0.5700      6.5700          1.9531    0.8015"
## [24] "     1.1200     10.5000          6.6474    5.0654"
## [25] "     2.0200      9.6600         15.7194   19.1383"
## [26] "     3.8200      8.5800         32.1354   66.1982"
## [27] "     5.1000      8.3600         42.9769   114.4617"
## [28] "     7.0300      7.4700         58.2529   206.2815"
## [29] "     9.0500 *     6.8900      6.8912 -1.228e-03  72.7565   322.2988"
## [30] "    12.1200 *     5.9400      5.9387 +1.324e-03  92.4505   528.5219"
## [31] "    24.3700 *     3.2800      3.2801 -1.465e-04 148.9231  1459.0711"
## [32] ""
## [33] "*: Used for the calculation of Lambda z."
## [34] ""
## [35] ""
## [36] "Calculated Values"
## [37] "-----"
## [38] "CMAX      Max Conc          10.5000 mg/L"
## [39] "CMAXD     Max Conc Norm by Dose 0.0328 mg/L/mg"
## [40] "TMAX      Time of CMAX        1.1200 h"
## [41] "TLAG       Time Until First Nonzero Conc 0.0000 h"
## [42] "CLST       Last Nonzero Conc      3.2800 mg/L"
## [43] "CLSTP      Last Nonzero Conc Pred 3.2801 mg/L"
## [44] "TLST       Time of Last Nonzero Conc 24.3700 h"
## [45] "LAMZHL    Half-Life Lambda z      14.3044 h"
## [46] "LAMZ      Lambda z           0.0485 /h"
## [47] "LAMZLL    Lambda z Lower Limit 9.0500 h"
## [48] "LAMZUL    Lambda z Upper Limit 24.3700 h"
## [49] "LAMZNPT   Number of Points for Lambda z 3"
## [50] "CORRXY    Correlation Between TimeX and Log ConcY -1.0000 "
## [51] "R2        R Squared          1.0000 "
## [52] "R2ADJ     R Squared Adjusted 1.0000 "
## [53] "AUCLST    AUC to Last Nonzero Conc 148.9231 h*mg/L"
## [54] "AUCALL    AUC All            148.9231 h*mg/L"
## [55] "AUCIFO    AUC Infinity Obs 216.6119 h*mg/L"
## [56] "AUCIFOD   AUC Infinity Obs Norm by Dose 0.6769 h*mg/L/mg"
## [57] "AUCIFP    AUC Infinity Pred 216.6150 h*mg/L"
## [58] "AUCIFPD   AUC Infinity Pred Norm by Dose 0.6769 h*mg/L/mg"
## [59] "AUCPEO    AUC %Extrapolation Obs 31.2489 %"
## [60] "AUCPEP    AUC %Extrapolation Pred 31.2499 %"
## [61] "AUMCLST   AUMC to Last Nonzero Conc 1459.0711 h2*mg/L"
## [62] "AUMCIFO   AUMC Infinity Obs 4505.5348 h2*mg/L"
## [63] "AUMCIFP   AUMC Infinity Pred 4505.6709 h2*mg/L"
## [64] "AUMCPEO   AUMC %Extrapolation Obs 67.6160 %"
## [65] "AUMCPEP   AUMC % Extrapolation Pred 67.6170 %"
## [66] "VZFO      Vz Obs by F      30.4867 L"

```

```

## [67] "VZFP"      Vz Pred by F          30.4863 L"
## [68] "CLFO"      Total CL Obs by F    1.4773 L/h"
## [69] "CLFP"      Total CL Pred by F    1.4773 L/h"
## [70] "MRTEVLST" MRT Extravasc to Last Nonzero Conc 9.7975 h"
## [71] "MRTEVIFO" MRT Extravasc Infinity Obs   20.8000 h"
## [72] "MRTEVIFP" MRT Extravasc Infinity Pred   20.8004 h"

```

파일로 저장하려면 다음을 입력합니다.

```

writeLines(txtNCA(Theoph[Theoph$Subject=="1","Time"],
                    Theoph[Theoph$Subject=="1","conc"],
                    dose=320, doseUnit="mg", concUnit="mg/L",
                    timeUnit="h"),
           'Output-ncar/txtNCA-Theoph.txt')

```

3.2 pdfNCA()

pdfNCA()로 pdf로 결과를 볼 수 있습니다.

```

pdfNCA(fileName="Output-ncar/pdfNCA-Theoph.pdf", Theoph, colSubj="Subject", colTime="Time",
        colConc="conc", dose=320, doseUnit="mg", timeUnit="h", concUnit="mg/L")

```

```

## pdf
## 2

```

3.3 rtfNCA()

마이크로소프트 워드에서 편집가능한 rtf파일을 만듭니다.

```

rtfNCA(fileName="rtfNCA-Theoph.rtf", Theoph, colSubj="Subject", colTime="Time",
        colConc="conc", dose=320, doseUnit="mg", timeUnit="h", concUnit="mg/L")

```



4

패키지: pkR

4.1 plotPK()

여러가지 기본적인 그림을 그려봅니다. Output 폴더 아래에 여러 파일이 생성됩니다.

```
pkR::plotPK(Theoph, "Subject", "Time", "conc",
             unitTime = "hr", unitConc = "mg/L", dose = 320)
```

```
## pdf
## 2
```



5

기타 사항

5.1 shiny 앱

웹브라우저를 통해 간단히 비구획분석을 할 수 있는 앱을 개발하였습니다.

- Han, S. (2017) pkrsShiny: Noncompartmental Analysis using pkr R package Shiny application. URL: <https://asan.shinyapps.io/pkrsShiny>

그 외 약동학과 관련된 몇가지 shiny 앱도 참고하세요.

- Han, S. (2017) Pharmacokinetic Simulation of one-compartment Models. URL: <https://asan.shinyapps.io/pk1c/>
- Han, S. (2017) caff: Monte Carlo Simulation of Caffeine Shiny application. URL: <https://asan.shinyapps.io/caff>
- Han, S. (2016) vtdm: Vancomycin TDM Shiny application. URL: <https://asan.shinyapps.io/vtdm>

5.2 지원

패키지와 관련한 모든 의문은 shan@acp.kr / 02-3010-4614 으로 연락 주시면 빠르게 도움 드리겠습니다. 혹은 StackOverflow¹에 영어로 질문 올려주시고 링크를 보내주시면 더 좋습니다. 아직 미완성이지만 Gitbook (일종의 웹북)²을 통해 전자출판도 진행 중이므로 시간 나실 때 틈틈이 확인해 주시면 감사하겠습니다. (Figure 5.1)

서울아산병원 임상약리학과 전공의 한성필

¹<https://stackoverflow.com>

²<https://asancpt.github.io/book-near>

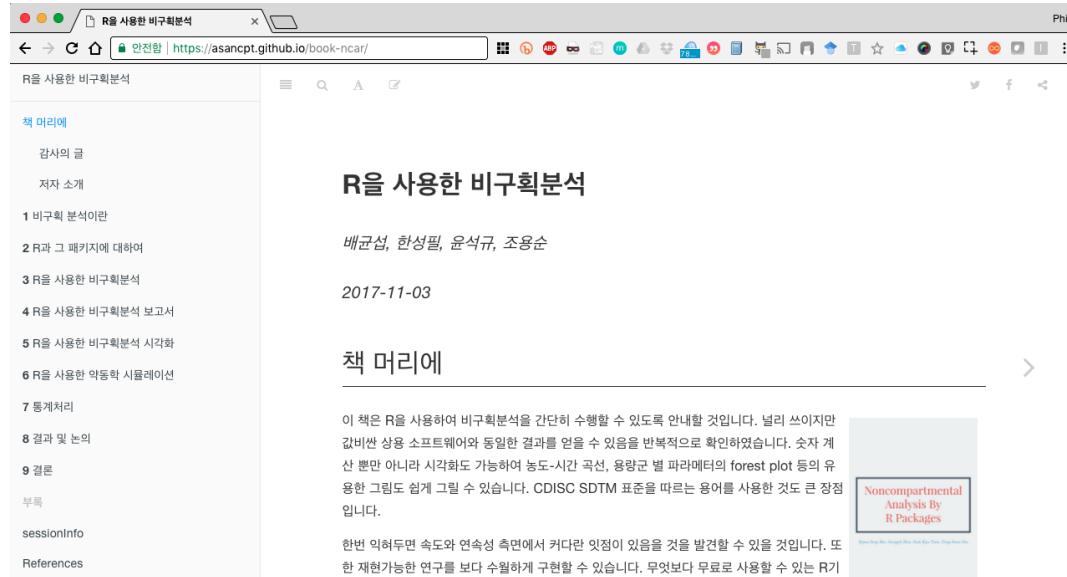


FIGURE 5.1 Gitbook: Noncompartmental analysis by R (work in progress)

5.3 고지

본 출판물은 2016, 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 협보 개발 사업의 지원을 받아 수행된 결과입니다 (NRF-2016-936606).

6

참고문헌

- Bae, Kyun-Seop. 2017a. *Ncar: Noncompartmental Analysis for Pharmacokinetic Report*. <https://CRAN.R-project.org/package=ncar>.
- . 2017b. *NonCompart: Noncompartmental Analysis for Pharmacokinetic Data*. <https://CRAN.R-project.org/package=NonCompart>.
- Bae, Kyun-Seop, and Jee Eun Lee. 2017. *Pkr: Pharmacokinetics in R*. <https://CRAN.R-project.org/package=pkr>.
- R Core Team. 2017. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.