

# ‘판토그래프와 초음파 하악 기록 장치를 이용한 하악 베넷 운동 비교 실험’ 관련 의뢰 분석 보고서

상담자: 김명준, 현승엽

소속: 서울대학교 통계학과

July 12, 2022

## 1 의뢰 목적

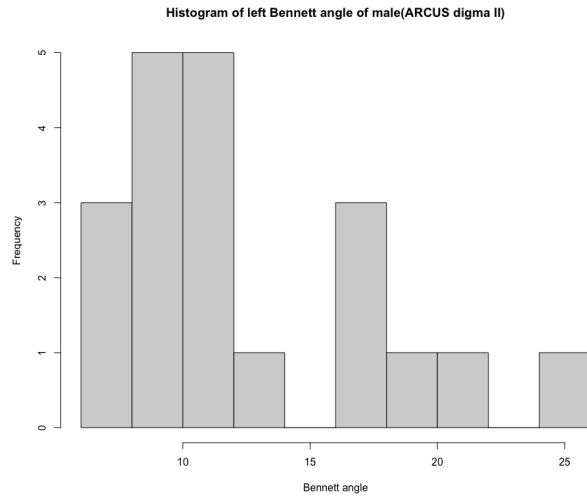
의뢰자 김민범의 의뢰로, 하악운동 기록장치인 판토그래프(Pantograph)와 ARCUS digma II로 측정한 Bennett angle 값이 유의미한 차이가 있는지 검정하는 것이 목적이다. 이에 필요한 정규성 검정과 더불어 상관분석도 함께 진행하였다. 데이터는 피실험자 40명(남녀 각 20명)으로부터 두 가지 기록장치와 좌우측에 대해 3회 측정하여 얻어졌으며, 평균값을 사용한다. 모든 분석은 R version 4.1.0을 사용하였다.

ID	Pantograph(Right)			Pantograph(Left)			ARCUS digma(Right)			ARCUS digma(Left)		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
1	10.8	11.5	10.9	19	17	16	14	11.9	12.4	13.5	15.6	12.4
2	22.5	22.5	14.9	7.31	9.98	11.3	27.9	28.4	29.2	16.2	17.7	16.7
3	14.6	15	12.6	11.5	12.9	13.8	10.2	9.65	12.4	24.7	22.8	21.8
4	12.9	16.2	12.2	18.1	17.5	16.3	17.7	18.3	20.8	9.65	12.4	11.3
⋮		⋮			⋮			⋮			⋮	

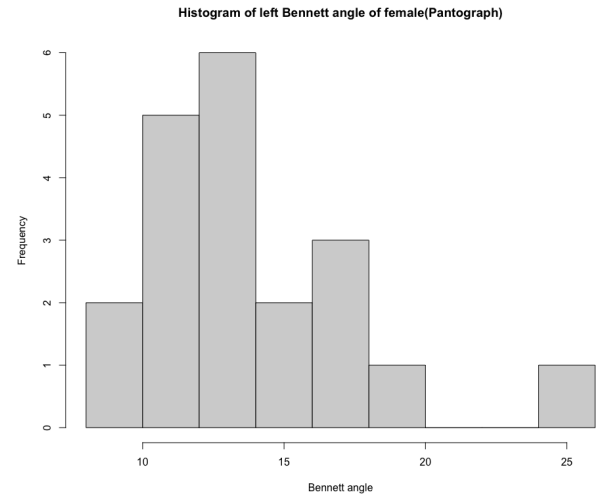
Table 1: Pantograph와 ARCUS digma II로 측정한 Bennett angle.

## 2 정규성 검정

기록장치, 성별, 좌우측에 따라 데이터를 나누어 정규성을 확인한 결과, 두 가지 경우에 대해 데이터가 정규성을 따르지 않았다(Figure 1). 분석하고자 하는 데이터와 같이 표본의 수가 충분하지 않고( $n < 30$ ) 정규성을 따르지 않는 경우, Wilcoxon signed rank test 혹은 Mann-Whitney U test와 같은 비모수적 방법을 사용할 수 있다. 하지만, 모수적 방법의 가정을 만족하는 경우, 비모수적 방법보다 검정력이 높다는 것이 알려져 있고, 로그 변환 후 데이터가 정규성을 만족했기 때문에(Figure 2) 비모수적 방법이 아닌 모수적 방법(Paired  $t$ -test 혹은 Two sample  $t$ -test)을 사용하였다. 또한, 동일한 사람에 대해 측정값의 편차가 큰 경향이 있는데, 로그 변환을 통해 그 편차를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

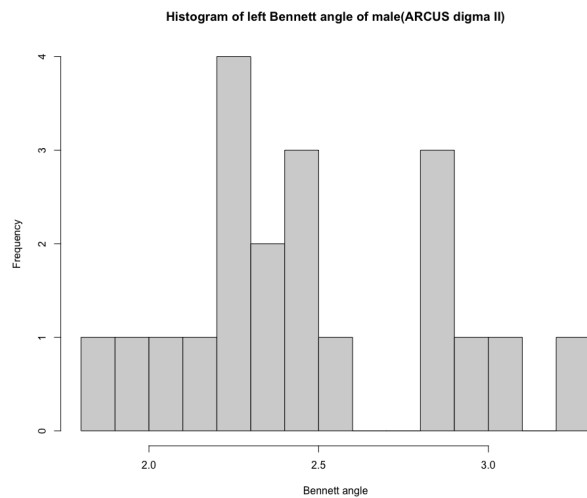


(a)

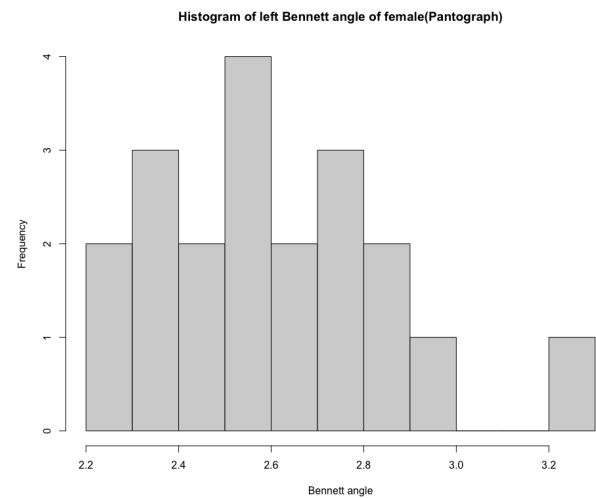


(b)

Figure 1: (a) ARCUS digma II로 측정한 남성의 좌측 Bennett angle. Shapiro-Wilk 검정 결과,  $p$  value가 0.018로 정규성 가정이 기각되었다. (b) Pantograph로 측정한 여성의 좌측 Bennett angle.  $p$  value = 0.018.



(a)



(b)

Figure 2: (a), (b) 두 가지 경우 모두 로그 변환 후 정규성을 만족하였다.  $p$  value는 각각 0.342, 0.372이다.

### 3 검정 방법의 선택

두 집단의 차이를 검정하기 위해 paired  $t$ -test 혹은 two sample  $t$ -test를 수행할 수 있다. Paired  $t$ -test는 비교하고자 하는 집단이 서로 종속되어 값이 쌍을 이루는 경우 수행한다. 예를 들어, 여성의 좌측 Bennett angle을 Pantograph와 ARCUS digma II로 각각 측정한 뒤 그 차이를 검정하고자 한다면, 동일한 피실험자로부터 얻어진 값이기 때문에 two sample  $t$ -test가 아닌 paired  $t$ -test를 수행해야 한다. 반대로 two sample  $t$ -test는 비교하고자 하는 집단이 서로 독립인 경우 사용한다. 예를 들어, Pantograph로 측정한 남녀의 좌측 Bennett angle을 비교하고자 한다면, 남녀 두 집단은 독립이므로 two sample  $t$ -test가 적절한 방법이다.

### 4 표본 수 산출 근거

일반적으로 검정의 검정력  $1 - \beta$ 를 증가시키면 제1종 오류를 범할 확률  $\alpha$ 도 증가한다. 표본의 수  $n$ 을 늘린다면 검정력은 키우면서 제1종 오류 확률을 줄일 수 있다. 하지만, 충분한 표본을 확보하기 어려운 경우, 원하는 검정력과 유의수준을 만족할 수 있는 최소한의 표본의 크기를 산출해 실험을 진행해야 한다. 이는 아래의 공식을 통해 얻을 수 있다.

$$n = \frac{2\sigma^2(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2}{(\epsilon - |\mu_c - \mu_t|)^2}$$

여기서  $\alpha, 1 - \beta, \epsilon$ 는 각각 유의수준, 검정력, 임상적 유의성의 기준을 의미한다.

### 5 분석 결과

#### 5.1 성별과 좌우 방향에 따른 기구 비교

Side	Recoder	$n$	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	$t$ -value(df)	$p$ -value
Right	Pantograph	20	14.350 $\pm$ 4.148	-1.169	-5.138 to 2.801	-0.616(19)	0.545
	ARCUS digma II	20	15.519 $\pm$ 8.700				
Left	Pantograph	20	13.914 $\pm$ 3.731	-1.358	-3.528 to 0.812	-1.310(19)	0.206
	ARCUS digma II	20	15.272 $\pm$ 5.429				

Table 2: 기록장치에 따른 여성의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired  $t$ -test 결과.

Side	Recoder	$n$	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	$t$ -value(df)	$p$ -value
Right	Pantograph	20	15.708 $\pm$ 4.899	2.006	-1.283 to 5.296	1.277(19)	0.217
	ARCUS digma II	20	13.702 $\pm$ 5.036				
Left	Pantograph	20	15.517 $\pm$ 4.291	2.689	-0.355 to 5.732	1.849(19)	0.080 <sup>†</sup>
	ARCUS digma II	20	12.828 $\pm$ 5.191				

<sup>†</sup>  $p < 0.1$

Table 3: 기록장치에 따른 남성의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired  $t$ -test 결과.

## 5.2 기구와 좌우 방향에 따른 성별 비교

Side	Sex	<i>n</i>	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	<i>t</i> -value(df)	<i>p</i> -value
Right	Female	20	14.350 $\pm$ 4.148	-1.358	-4.263 to 1.548	-0.946(38)	0.350
	Male	20	15.708 $\pm$ 4.899				
Left	Female	20	13.914 $\pm$ 3.731	-1.603	-4.177 to 0.971	-1.261(38)	0.215
	Male	20	15.517 $\pm$ 4.291				

Table 4: Pantograph로 측정한 남녀의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 two sample *t*-test 결과.

Side	Sex	<i>n</i>	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	<i>t</i> -value(df)	<i>p</i> -value
Right	Female	20	15.519 $\pm$ 8.700	1.817	-2.733 to 6.368	0.808(38)	0.424
	Male	20	13.702 $\pm$ 5.036				
Left	Female	20	15.272 $\pm$ 5.429	2.444	-0.956 to 5.844	1.455(38)	0.154
	Male	20	12.828 $\pm$ 5.191				

Table 5: ARCUS digma II로 측정한 남녀의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 two sample *t*-test 결과.

## 5.3 성별과 기구에 따른 좌우 비교

Recoder	Side	<i>n</i>	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	<i>t</i> -value(df)	<i>p</i> -value
Pantograph	Right	20	14.350 $\pm$ 4.148	0.436	-2.048 to 2.921	0.368(19)	0.717
	Left	20	13.914 $\pm$ 3.371				
ARCUS digma II	Right	20	15.519 $\pm$ 8.700	0.247	-3.447 to 3.941	0.140(19)	0.890
	Left	20	15.272 $\pm$ 5.429				

Table 6: 좌우 방향에 따른 여성의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired *t*-test 결과.

Recoder	Side	<i>n</i>	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	<i>t</i> -value(df)	<i>p</i> -value
Pantograph	Right	20	15.708 $\pm$ 4.899	0.191	-2.337 to 2.720	0.158(19)	0.876
	Left	20	15.517 $\pm$ 4.291				
ARCUS digma II	Right	20	13.702 $\pm$ 5.036	0.874	-2.145 to 3.833	136 <sup>†</sup>	0.255
	Left	20	12.828 $\pm$ 5.191				

<sup>†</sup> Wilcoxon signed rank test.

Table 7: 좌우 방향에 따른 남성의 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired *t*-test 결과.

## 5.4 좌우 방향에 따른 기구 비교

Side	Recoder	$n$	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	$t$ -value(df)	$p$ -value
Right	Pantograph	40	15.029 $\pm$ 4.533	0.419	-2.093 to 2.931	0.337(39)	0.738
	ARCUS digma II	40	14.610 $\pm$ 7.077				
Left	Pantograph	40	14.715 $\pm$ 4.051	0.665	-1.235 to 2.565	0.708(39)	0.483
	ARCUS digma II	40	14.050 $\pm$ 5.387				

Table 8: 기록장치에 따른 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired  $t$ -test 결과. 성별을 고려하지 않았다.

## 5.5 성별에 따른 기구 비교

Sex	Recoder	$n$	Mean $\pm$ sd	Mean diff.	95% CI	$t$ -value(df)	$p$ -value
Female	Pantograph	20	28.264 $\pm$ 5.838	-2.527	-6.929 to 1.876	-1.201(19)	0.244
	ARCUS digma II	20	30.791 $\pm$ 12.167				
Male	Pantograph	20	31.225 $\pm$ 7.458	4.695	-0.669 to 10.059	1.832(19)	0.083 <sup>†</sup>
	ARCUS digma II	20	26.530 $\pm$ 8.445				

<sup>†</sup>  $p < 0.1$

Table 9: 기록장치에 따른 Bennett angle 차이를 검정하기 위한 paired  $t$ -test 결과. 좌우 측정값을 합산하였다.

## 6 Boxplot

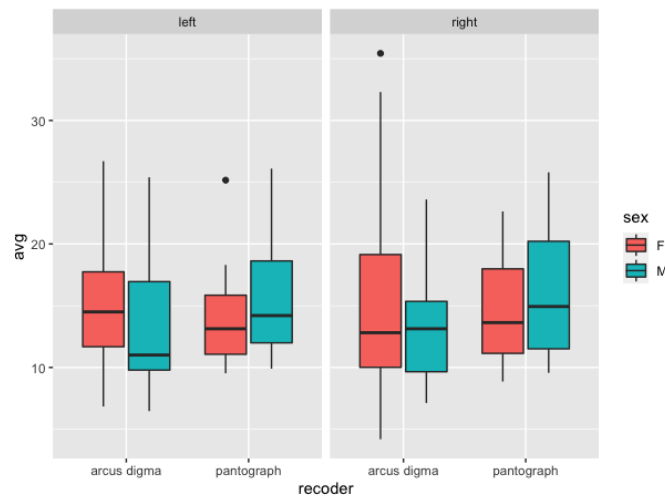


Figure 3: Sample caption

두 가지 기록장치로 측정한 데이터를 각각의 측정 기구에 따라 성별, 좌우측으로 구분하여 boxplot으로 표현한 결과이다(Figure 3). 세 가지 기준(성별, 좌우측, 기록장치) 중 두 가지가 고정된 상태의 plot들 중에서 상대적으로 큰 차이를 보인다고 판단되는 부분은 다음과 같다. (좌측부터 1~8의 번호를 부여한다고 가정)

- ARCUS digma II 로 좌측을 측정했을 때, 남성과 여성의 차이 (1 vs 2)
- 남성의 좌측을 측정했을 때, 기록장치의 차이 (2 vs 4)
- 남성을 ARCUS digma II 로 측정했을 때, 좌측과 우측의 차이 (2 vs 6)

## 7 상관관계 분석

- 측정 기구 + 좌우 방향

	<i>LeftPantograph</i>	<i>RightPantograph</i>	<i>LeftArcus</i>	<i>RightArcus</i>
<i>LeftPantograph</i>		0.245 (.128)	0.233 (.149)	0.257 (.109)
<i>RightPantograph</i>			0.065 (.690)	0.139 (.392)
<i>LeftArcus</i>				0.425 (.006)
<i>RightArcus</i>				
<i>Computed correlation used pearson-method with listwise-deletion.</i>				

Table 10: 두 가지 측정 기구와 좌우 방향에 대한 상관관계 분석

유일하게 ARCUS digma(Left) 와 ARCUS digma(Right) 간에 유의미한 상관관계가 발견되었다.

- 측정 기구 + 좌우 방향 (남성)

	<i>panto_left_m</i>	<i>panto_right_m</i>	<i>arcus_left_m</i>	<i>arcus_right_m</i>
<i>panto_left_m</i>		0.314 (.177)	0.069 (.774)	0.006 (.982)
<i>panto_right_m</i>			-0.151 (.525)	-0.001 (.997)
<i>arcus_left_m</i>				0.364 (.115)
<i>arcus_right_m</i>				
<i>Computed correlation used pearson-method with listwise-deletion.</i>				

Table 11: 남성에 대한 두 가지 측정 기구와 방향에 대한 상관관계 분석

유의미한 상관관계가 발견되지 않았다.

- 측정 기구 + 좌우 방향 (여성)

아래의 3가지 구분에 대해 유의미한 상관관계가 발견되었다.

	<i>panto_left_f</i>	<i>panto_right_f</i>	<i>arcus_left_f</i>	<i>arcus_right_f</i>
<i>panto_left_f</i>		0.095 (.689)	0.541 (.014)	0.510 (.022)
<i>panto_right_f</i>			0.393 (.087)	0.290 (.214)
<i>arcus_left_f</i>				0.454 (.044)
<i>arcus_right_f</i>				
<i>Computed correlation used pearson-method with listwise-deletion.</i>				

Table 12: 여성에 대한 두 가지 측정 기구와 방향에 대한 상관관계 분석

- Pantograph(Left)  $\sim$  ARCUS digma II(Left)
- Pantograph(Left)  $\sim$  ARCUS digma II(Right)
- ARCUS digma II(Left)  $\sim$  ARCUS digma II(Right)

• 측정 기구 (성별 구분)

Sex	Correlation Coefficient	p-value
Male	-0.0351	0.8831
Female	0.6591	0.0015

Table 13: 성별에 따른 두 가지 측정 기구에 대한 좌우방향 합산한 값의 상관관계 분석

여성에 대해서만 두 기구 간에 유의미한 상관관계가 발견되었다.