

역학에서의 측정 지표

역학(Epidemiology)란 특정 인구 집단의 비만, 영양 상태, 우울증, 고혈압 등과 같은 건강 관련 상태(health-related state)나 사건(event)의 분포 및 이들의 결정 요인에 대한 연구와 이러한 연구 결과를 건강에 관한 문제들을 해결하는데 적용하는 것이다 (Center for Disease Control and Prevention, 2023). 역학 분야에서도 현대적인 개념과 방법들이 대두되고 있지만, 기본적인 역학적 측정 지표는 이러한 개념과 방법들을 이해하는데 기초적인 역할을 할 뿐 아니라 [1], 건강 상태 및 사건 상태를 양적으로 측정하고, 이들에 대한 노출(Exposure) 또는 개입(Intervention)과 같은 결정 요인의 위험 또는 효과의 측정 지표로서 여전히 중요한 역할을 하고 있다. 이에 역학에서 흔히 사용되는 기본 지표들을 올바르게 이용하고 이해할 수 있도록 이 지표들의 개념과 해석을 소개하고자 한다.

1. 빈도 측도 (Measures of Frequency)

관심 건강 상태나 사건 상태의 정도를 측정하는 기본적인 지표로는 두 가지가 있다. 첫번째는 유병(Prevalence)인데, 이는 전체 모집단 중에 존재하는 관심 건강 상태 또는 사건 상태의 총 수(Existing cases)에 근거한 것이다. 두번째는 발생(Incidence)인데, 이는 관심 건강 상태 또는 사건 발생 위험에 있는 위험군(Persons at risk) 중에서 특정기간 동안 해당 상태가 발생한 새로운 건수(New cases)를 의미한다. 특정 인구 내 관심 건강 상태나 사건 상태가 얼마나 퍼져 있는지를 측정하려 한다면, 해당 집단 내에서의 유병률, 새로운 사례가 얼마나 발생했는지는 발병을 측정한다.

(1) Prevalence에 대한 지표

Prevalence는 특정 시점에서(Point prevalence) 또는 특정 기간동안(Period prevalence) 비만과 같은 같은 관련 특정 속성이 있는 사람 수 또는 질병과 같은 사건이 있는 사람 수로 정의되며 (National Center for Health Statistics, 2023), 공중 보건학적 측면에서 보면 관심 상태에 대한 기존 부담(Existing burden)을 반영한다 [1], [2]. 특정 시점에서의 유병률에 대한 지표는 천식과 같은 만성 질환의 부담을 측정하는데 유용하며, 반면에 감염과 같은 급성 질환은 잘 포착되지 않을 가능성이 있으므로 적합하지 않다. 유병률의 가장 일반적인 산출 지표는 비율(Proportion)으로 다음과 같이 계산되며, 이는 0~1 (0~100%)의 범위를 갖을 수 있다.

$$\text{Prevalence Proportion} = \frac{\text{\# of Prevalent Cases}}{\text{Total Population}}$$

또한, 유병률은 비율(%)뿐만 아니라, 인구 100,000명당 환자 수로 제시되기도 한다.

여기서 만약 분모가 특정 집단에서 특정 기간의 인구 수라면, 해당 기간을 대표하는 인구 수를 결정하여 사용해야 한다. 예를 들어, 2020년 우리나라 소아청소년의 천식에 대한 Prevalence proportion을 계산한다면, 분모인 2020년 우리나라 소아청소년 인구 수를 대입해야 하는데, 이 때 2020년 1월 1일~12월31일 동안 소아청소년 인구 수가 항상 동일하지 않으므로, 일반적으로 중간시점에서의 인구 수(Mid-year population)를 사용한다.

유병률은 특정 인구 집단에서 이미 발생한 사례를 포착하므로 질병 발생 위험이나 새로운 사례 발생 속도에 대한 정보를 제공할 수 없다. 이를 위해서는 다른 측정 지표가 필요하다.

(2) Incidence에 대한 지표

Incidence는 Prevalence와는 달리, 일정 기간 동안 질병이 발생한 새로운 사례의 수로 정의된다 (National Center for Health Statistics, 2023). Incidence 산출에서는 특히, 분모가 되는 집단과 분자가 되는 새로운 발생 사례 정의에 좀 더 주의를 기울여야 한다. 분모에서는 Incidence를 산출할 특정 년도에서 출생, 사망 또는 이주로 인해 질병에 걸릴 위험이 있는 인구가 해당 년도 내에서 변할 수 있

다. 또한, 분자가 되는 발생 사례는 미감염에서 감염과 같은 한 상태(State)에서 다른 상태로 전환된 사례를 의미하는데, 이것이 새로운 사례인지, 즉 지정된 기간 동안 발병생 발생했는지 여부를 판단하는 것이 어려울 수 있다. 이러한 Incidence 측정의 어려움 또는 복잡성으로 인해 많은 건강 통계는 Prevalence 측면에서 제공되기도 한다. Prevalence와의 중요한 차이점 중 하나는 Incidence는 관심 있는 결과를 발생시키는 위험이 있는 개개인들의 인구 집단에서만 측정되어야 한다는 것이다. 즉, 해당 결과물을 이미 가지고 있는 개인 (시작 시점에서의 기존 사례) 또는 그 외에 결과를 경험할 수 없는 개인들은 제외되어야 한다는 것이다.

Incidence는 두 가지 측정 지표, 발생 비율 (Incidence proportion)과 발생률 (Incidence rate)으로 나뉠 수 있는데, 이 두 가지 지표는 구별되어야 한다.

가. 발생 비율 (Incidence Proportion)

발생 비율은 전체 위험에 있는 개인들 중 새로 발생한 사례의 수로, Cumulative incidence 또는 cumulative risk라고 불릴 수 있으며, 지정된 기간 동안 관심 있는 결과물이 발생한 비율로 해석될 수 있으며, 0~1 (0~100%)의 범위를 갖는다.

$$\text{Incidence Proportion} = \frac{\# \text{ of Incident Cases}}{\text{Total Population}}$$

구체적인 산출 방법은 조금 다르지만 생존분석에서의 특정 기간의 생존율로 이해하면 쉽다. 따라서 발생 비율을 해석하려면 위험이 평가된 기간에 대한 정보가 필요하다. 예를 들어, 관심 사건이 사망이라면, 충분히 긴 기간으로 측정할 때, 사람의 사망 발생 비율은 100%이다. 만약 10%의 사망 비율이라면, 10개월 동안인지, 10년 동안인지에 따라서 매우 다르게 해석될 수 있다. 따라서, 발생 비율은 항상 추적 기간과 함께 보고되어야 한다.

나. 발생률 (Incidence Rate)

발생률(결과가 질병일 경우 발병률로 부르기도 한다)은 관심 사건이 발생했는지 여부뿐만 아니라 사건이 언제 발생했는지를 알아내어 발병률 측정에 시간 요소를 직접적으로 반영하는 것으로, 시간의 변화에 따른 발생 속도를 측정할 수 있어서, 종종 발생 밀도 (Incidence density)라고도 불린다. 발생률은 전체적으로 해당 사건 발생 위험에 있는 개인들의 총 시간 중 발생한 사례의 수로 계산되며, 단위는 종종 person-year로 표시된다.

$$\text{Incidence Rate} = \frac{\# \text{ of Incident Cases}}{\text{Total Person-Time at Risk}}$$

예를 들어, 5명의 환자가 각각 1, 1.5, 2, 3, 5년 동안 추적되었다면, 이 추적기간들은 발생률에 총 12.5 person-years를 기여하기 된다. 이 때 한 명의 사례가 발생했다면 발생률은 1 case / 12.5 person-years 또는 0.08 cases / person-year가 된다. 종종 발생률은 100 person-years 또는 1,000 person-years와 같이 person-year당 사례로 해석하기 쉽게 변환하여 보고되기도 한다. 위의 예시를 변환하면, 0.08 cases / person-year x 1000 person-years = 80 cases / 1000 person-years가 된다. 이를 해석하면, 1000명을 모두 1년씩 추적 관찰 또는 100명을 모두 10년 추적 관찰하면 80명의 사례가 발생한다는 것이다. 발생률은 발생 비율과 달리 0에서 무한대까지의 범위를 가질 수 있다. 또한, 발생률의 분모에 시간이 포함되어 있기 때문에 모든 사람이 동일한 고정된 시간 동안 추적되지 않더라도 발생률을 측정할 수 있게 된다.

2. 노출 영향 또는 치료 효과 측정 지표

어떤 요인이 건강 관련 상태 또는 사건의 결정 요인인지를 이해하기 위해서는, 노출(Exposure) 또는 치료(Treatment)와 결과간 잠재적 관련성을 살펴보아야 한다. 이러한 잠재적 관련성이 있는지, 어느 방향으로 있는지 그리고 관련성의 크기는 어느 정도 되는지를 탐색하기 위해, 일반적으로 노출 그룹 (치료 그룹)과 비노출 그룹 (비치료 그룹)간 사건 발생 비율이나 발생률을 비교하는 측정 지표

산출할 수 있다. 이러한 측정 지표는 교차표(Contingency table)를 이용하여 쉽게 계산할 수 있는데, 전향적 연구에서의 교차표와 후향적 연구에서의 교차표는 연구 설계 방법 상 다음과 같이 구분된다. 여기서는 편의 상 결정 요인을 노출 여부로 설정하겠다.

전향적 연구는 노출 그룹 (a+b)명과 비노출 그룹 (c+d)명으로 나누어 모집한 후 (즉 연구 시작 전에 노출 그룹과 비노출 그룹의 크기를 각각 (a+b)명과 (c+d)명으로 정하여 노출 그룹과 비노출 그룹을 모집), 각 그룹에서의 사건 발생 여부에 대한 자료를 수집하는 것이므로 노출 여부와 사건 발생 여부 간 교차표는 다음과 같은 형태가 된다.

< 표 1. 전향적 연구 교차표 >

Factor	Outcome (Disease)		Total	Person-time
	Event	No Event		
Exposed	a	b	a+b	PT ₁
Unexposed	c	d	c+d	PT ₀

후향적 연구는 사건 발생 군 (a+c)명과 비 발생 군 (b+d)명을 모집한 후 (즉 연구 시작 전에 사건 발생 군과 비 발생군의 크기를 각각 (a+b)명과 (c+d)명으로 정하여 사건 발생군과 비 발생군을 모집), 각 군에서의 노출 여부에 대한 자료를 수집하는 것이므로 노출 여부와 사건 발생 여부 간 교차표는 다음과 같은 형태가 된다.

< 표 2. 후향적 연구 교차표 >

Factor	Outcome (Disease)	
	Event	No Event
Exposed	a	b
Unexposed	c	d
Total	a+c	b+d

연구의 설계 특성 상, (비)노출 그룹에서의 사건 발생 비율 또는 발생률은 전향적 연구에서는 산출할 수 있으나, 후향적 연구에서는 노출 그룹과 비노출 그룹을 나누어 각 그룹에서 사건 발생 여부를 조사한 것이 아니므로 (비)노출 그룹에서의 사건 발생 비율 또는 발생률을 산출할 수 없다는 것을 알 수 있다.

사건 발생에 대한 노출의 영향을 측정하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 하나는 차이(Difference)를 이용하는 것이고, 다른 하나는 비(Ratio)를 사용하는 것이다.

(1) 차이 척도

노출 여부와 사건 발생간의 연관성을 차이(Difference)로 측정하는 것으로, 발생 비율의 차이 또는 발생률의 차이 사용에 따라 각각 Risk difference 또는 Rate difference 지표로 구분된다.

가. Risk Difference

노출된 그룹과 비노출 그룹간의 사건 발생 비율(Incidence proportion)의 차이를 나타내는 것으로, 전향적 연구에서의 교차표 (표 1)을 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Risk Difference} = \frac{a}{(a+b)} - \frac{c}{(c+d)}$$

Risk difference는 -1(-100%)부터 +1(+100%)까지의 범위를 갖으며, 값의 부호에 따라 결과 발생에 대한 노출의 영향 방향은 다음과 같다.

Risk Difference	Negative	0	Positive
Exposure Effect	Protective	No effect	Harmful

Risk difference는 사건 발생에 대한 노출의 영향을 절대적인 차이로 해석된다. 예를들어, 5년간 추적 자료로부터 흡연 그룹과 비흡연 그룹에서 폐암 발생 비율이 각각 0.7%와 0.05%라면, 위험의 차이는 0.65%로, 1000만명 규모의 사회 전체로 본다면 흡연으로 말미암아 6.5만명의 폐암 환자가 더 발생하는 셈이다 [3]. 따라서, (비)노출로 인한 질병 발생 (감소)증가 효과를 사회적 측면에서 제시할 경우는 위험의 차이를 사용하는 것이 적절하다.

이와 같이 위험 차이는 노출에 의한 사건 발생 위험의 변화를 절대적인 척도로 측정하기 때문에, 역학에서는 Attributable risk, excess risk 및 absolute risk reduction으로도 불리기도 한다.

또한, Risk difference는 사건 발생 비율로부터 계산되기 때문에, 위의 흡연과 폐암 예시와 같이 지표의 척도(발생 비율)과 시간(5년)을 명확히 보고하고 해석해야 한다. 만약 폐암 발생의 위험이 노출 그룹에서 0.65% 더 높았다.와 같이 사용된 척도와 시간을 명시하지 않고 기술하면 이 0.65가 절대적 척도(Absolute scale)인지, 비 척도인지(Ratio scale)인지가 명확하지 않아 해석에 오류를 불러올 수 있다.

나. Rate Difference

노출 그룹과 비노출 그룹간 사건 발생률(Incidence rate)의 차이를 나타내는 것으로, 전향적 연구에서의 교차표 (표 1)을 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Risk Difference} = \frac{a}{PT_1} - \frac{c}{PT_0}$$

Rate difference는 발생률의 차이이므로, 발생률의 단위가 그대로 유지된다. 예를들어, 어떤 건강 관련 조사에서 BMI>29인 비만자들과 BMI<21인 마른 사람들간 치명적이지 않은 심근경색 (Non-fatal MI) 발생률의 차이가 100,000 person-years당 62.3 cases라면, BMI>29인 사람들은 BMI<21인 사람들과 비교했을 때 100,000 person-years당 62.3 cases의 추가 non-fatal MI가 발생한다고 해석된다.

(2) 비 척도

노출 여부와 사건 발생간의 연관성을 비(ratio)로 측정하는 것으로, 발생 비율의 비 또는 발생률의 비 사용에 따라 각각 Risk ratio 또는 Rate ratio 지표로 구분된다.

가. Risk Ratio

비노출 그룹의 사건 발생 비율(Incidence proportion) 대비 노출 그룹의 사건 발생 비율의 비로 나타내는 것으로, 전향적 연구에서의 교차표 (표 1)을 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Risk ratio} = \frac{a/(a+b)}{c/(c+d)}$$

Risk ratio는 0에서 무한대까지의 범위를 갖으며, Risk ratio=1을 중심으로 사건 발생에 대한 노출의 영향 방향은 <표 3>과 같다.

Risk ratio는 비노출과 비교하여 노출이 있을 때 사건 발생이 있을 가능성이 얼마나 높은지 (또는 낮은지)를 추정하므로, 많은 임상자들은 이 지표를 상대위험비(Relative Risk; RR)로 부르고 있다.

위의 흡연과 폐암 예시에서 위험 비는 0.70/0.05=14.0으로, 개인적 입장에서 볼 때, 흡연을 하면 흡연을 하지 않는 것에 비해 폐암에 걸릴 위험이 상대적으로 크며, 그 위험은 14배이다로 해석할 수

있다. 따라서, (비)노출로 인한 질병 발생 (감소)증가 효과를 개인 입장 측면에서 제시할 경우는 Risk Ratio로 제시하는 것이 적절할 것이다.

또한, Risk ratio는 Risk difference와 같이 발생 비율을 사용하기 때문에 결과를 제시할 때 Risk difference와의 혼동을 피하기 위해 위와 같이 14배 즉 곱셈 용어로 제시한다.

나. Rate Ratio

비노출 그룹의 사건 발생률 대비 노출 그룹의 사건 발생률의 비로 나타내는 것으로, 전향적 연구에서의 교차표 (표 1)을 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Risk Ratio} = \frac{a/PT_1}{c/PT_0}$$

Rate ratio도 0에서 무한대까지의 범위를 갖으며, Rate ratio=1을 중심으로 사건 발생에 대한 노출의 영향 방향은 <표 3>과 같다.

<표 3> Ratio 척도에서의 결과 발생에 대한 노출의 영향 방향

Risk Ratio Rate Ratio Odds Ratio	<1	1	>1
Exposure Effect	Protective	No effect	Harmful

Rate difference는 해당 단위가 그대로 유지되는 반면, Rate ratio는 분자와 분모에 모두 Person-time의 단위가 있어서 Rate 단위가 제거된다. 또한, Risk ratio는 Risk difference와 마찬가지로 시간을 참조하여 해석되어야 하나, Rate ratio에서는 그렇지 않다.

다. Odds Ratio

Odds는 특정 그룹에서 사건의 비 발생자 수 대비 발생자 수의 비로, 해당 그룹에서 발생자 수가 비 발생자 수보다 몇 배 높은지를 나타낸다. 이 값이 클수록, 해당 그룹에서 비발생자 수에 비해 발생자 수가 상대적으로 높다는 것을 의미한다.

오즈비는 비노출 그룹에서의 사건 발생에 대한 오즈 대비 노출 그룹에서의 발생에 대한 오즈의 비로 위의 전향적 연구 및 후향적 연구 교차표 (표1, 표2)를 이용하여 전향적 연구, 후향적 연구 동일하게 다음과 같이 산출된다.

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \text{Odds in exposed group} / \text{Odds in unexposed group} = \frac{a/b}{c/d} = \frac{ad}{bc}$$

OR도 0에서 무한대까지의 범위를 갖으며, Odds ratio=1을 중심으로 사건 발생에 대한 노출의 영향 방향은 <표 3>과 같다.

사건이 드물게 발생하는 경우 (예: 대상 집단의 10% 미만에서 발생) [4], OR은 Risk ratio를 근사할 수 있다. 위의 흡연과 폐암 예시에서 폐암 발생 비율이 매우 낮았고, 이 때 Risk ratio는 14.0이었고, OR은 14.09로, 두 지표 값이 거의 동일함을 알 수 있다.

$OR = \frac{1-c/(c+d)}{1-a/(a+b)} \times \text{Risk ratio}$ 이므로, OR은 $\frac{1-c/(c+d)}{1-a/(a+b)}$ 배 만큼 Risk ratio를 과대추정 또는 과소추정하게 된다. 따라서 $\frac{1-c/(c+d)}{1-a/(a+b)} > 1$ 이면 과대추정, < 1 이면 과소추정한다. 즉 노출 그룹에서 사건 발생 비율($a/(a+b)$)이 비노출 그룹에서 사건 발생 비율($c/(c+d)$)보다 크면 Risk ratio를 과대 추정하고, 반대이면 과소 추정할 것이다.

따라서, 대부분의 경우 노출 그룹에서의 관심 사건 발생 비율이 비노출 그룹에서 보다 높으므로, OR은 Risk ratio를 대부분 과대추정하게 되는 것이다. 또한, 이러한 과대추정 또는 과소추정 정도는 로지스틱 회귀분석과 같이 잠재적 교락요인에 대해 보정될 때 더욱 부풀려진다.

라. Risk Ratio vs Odds Ratio

2x2 교차표에서 OR은 "Reciprocity" 특성 즉, 사건 발생 여부 변수의 참조 범주(Reference category)를 변경했을 때, OR은 변경 전 OR의 역수로 추정할 수 있다는 특성을 갖는다. 또한, OR의 표준오차(Standard error)는 사건 발생 여부의 참조 변수를 변경해도 동일한 값으로 추정되기 때문에, 사건 발생 여부의 참조 범주 변경에 의한 OR 점 추정치 및 신뢰구간 추정은 변경 전 OR의 역수를 취하면 된다. 아래 가상 예시 <표 4>에서 [5], 사건 발생 여부의 관심 범주가 사망일 경우 (참조 범주: 생존)

$$OR = \frac{26 \times 60}{38 \times 8} = 5.13 \text{이고, OR의 95\% 신뢰구간은 (2.11, 12.50)으로 추정된다. 만약 사건 발생 여부의 관심 범주를 생존으로 변경하면 (참조 범주: 사망) } OR = \frac{8 \times 38}{26 \times 60} = \frac{1}{\left(\frac{26 \times 60}{38 \times 8}\right)} = \frac{1}{5.13} = 0.19 \text{이고, 이 OR의 95\% 신뢰구간은 } (1/12.50, 1/2.11) = (0.08, 0.47) \text{이 된다.}$$

< 표 4. 가상 자료: 132명의 유방암 환자의 Histological Type과 사망 여부 >

	사망	생존	합계
Mixed Lobular	26	8	34
Ductal	38	60	98

그러나, Risk ratio는 정의가 사건 발생 여부 변수의 참조 범주에 의존하기 때문에 이러한 Reciprocity 특성이 적용되지 않는다. 즉 사건 발생 여부 변수의 참조 범주가 바뀌면 Risk ratio의 추정 값이 1/(Risk ratio)가 되지 않는다는 것이다. 그러므로 Risk ratio로 비교하여 해석할 때는 사건 발생 여부 변수의 어떤 범주를 참조 범주로 했느냐가 매우 중요하다.

사건에 대한 노출의 위험 또는 치료 효과를 측정하는데 로지스틱 회귀분석은 흔히 사용되는 방법이다. 로지스틱 회귀분석의 기본적 장점은 공변량(Covariate)의 효과를 보정하여 OR을 추정할 수 있다는 것이다. 그러나, 앞서 언급한바와 같이 사건의 Incidence가 상대적으로 높은 경우, OR은 종종 Risk ratio를 과대 추정한다. 만일 OR보다는 Risk ratio를 추정하고자 한다면, 포아송 회귀분석은 로지스틱 회귀분석의 하나의 대안이 된다. 로지스틱 회귀분석에서는 사건 발생의 로그 오즈와 노출 및 공변량간의 선형식을 모형으로 하여 OR를 추정하게 되지만, 포아송 회귀분석에서는 사건 발생 확률의 로그와 노출 및 공변량간 선형식을 모형으로 한다. 따라서, 로지스틱 회귀분석에서는 사건 발생에 대한 노출의 영향 척도로 OR을 추정하지만, 포아송 회귀분석에서는 사건 발생에 대한 노출 영향을 Risk ratio로 추정이 가능해진다. 위의 표 4의 가상 예시에서 Ductal type에 대한 Mixed type의 사망에 대한 로지스틱 회귀분석 결과 OR = 5.13 (95% 신뢰구간: 2.11, 12.50)으로 추정되는 반면에, 포아송 회귀분석 결과 Risk ratio = 1.97 (95% 신뢰구간: 1.45, 2.69)로 OR과 Risk ratio간에 큰 차이를 보였다. 연령, grade (II, III), possible lymphocytic infiltration, # of lymph nodes metastases (<=3, >3)를 보정하여, 다중변수 로지스틱 결과 OR은 5.25로 더 증가하여, 공변량 비보정의 경우나 보정의 경우 Risk ratio를 과대 추정함을 알 수 있다 [5]. 또한, 시뮬레이션 연구 결과 OR의 추정된 신뢰구간의 폭이 매우 넓고, sample size가 증가해도 OR의 점 추정치의 bias는 감소하지 않는 결과를 보였다 [6], [7], [8]. 결과 발생이 드문 경우라도 (<10%), Risk ratio를 추정하기 위해 로지스틱 회귀분석을 사용하는 것은 OR의 남용일 수 있다. 특히 드물지 않은 결과인 경우, OR은 항상 Risk ratio를 과대 추정하므로, 이 경우 포아송 회귀분석을 사용하는 것이 제안된다 [8], [9], [10]

저자소개



김선우 박사 | LSK Global PS 학술 연구 서비스 본부

- Ph.D in Biostatistics (미국 오하이오주립대학교)
- 1994~2021 삼성서울병원 의학통계연구센터 팀장, 수석연구원, 센터장
- 2022~현재 LSK Global PS, 학술연구서비스본부 본부장
- 국내외 의학저널 심사위원, IRB 및 IDMC 위원, 식약처 의료기기 허가 심사 자문 위원 역임
- JAMA, Lancet 등 국내외 저널 300여편 논문 게재

문의: arshq@lskglobal.com (학술연구서비스본부)

참고문헌

- [1] Lash TL et al. *Modern Epidemiology*, 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2021
- [2] Westreich D. *Epidemiology by design: A causal approach to the health sciences*. Oxford University Press, 2019
- [3] 허명희. *비교연구를 위한 통계적 방법론*, 자유아카데미, 1992
- [4] Tamhane, AR et al. Prevalence Odds ratio versus prevalence ratio: Choice comes with consequences. *Stat. Med.* 2016. 35, 5730–5735
- [5] Charalambos G. et al. Overestimation of relative risk and prevalence ratio: Misuse of logistic modeling. *Diagnostics*. 2022. 12, 2851
- [6] McNutt, LA et al. Estimating the relative risk in cohort studies and clinical trials of common outcomes. *Am. J. Epidemiol.* 2003. 157, 940–943
- [7] Greenland, S. Model-based estimation of relative risks and other epidemiologic measures in studies of common outcomes and in case-control studies. *Am. J. Epidemiol.* 2004. 160, 301–305
- [8] Zou, GA. Modified Poisson regression approach to prospective studies with binary data. *Am. J. Epidemiol.* 2004. 159, 702–706
- [9] Yelland, LN et al. Performance of the modified Poisson regression approach for estimating relative risks from clustered prospective data. *Am. J. Epidemiol.* 2011. 174, 984–992
- [10] Chen, W. et al. Comparing performance between log-binomial and robust Poisson regression models for estimating risk ratios under model misspecification. *BMC Med. Res. Methodol.* 2018. 18, 63