

2022 부다페스트 세계수영선수권대회 혼성 혼계영 경기력 분석

Analysis of Mixed Medley Relay Performance in 2022 Budapest World Swimming Championship

이승재(남부대학교 교수) · 최규웅(한국체육대학교 조교) · 김응준(한국체육대학교 교수) · 김효식*(한국체육대학교 교수)

Seung-Jae Lee Nambu University · Kyu-Woong Choi Korea National Sport University · Eung-Joon Kim Korea National Sport University · Hoy-Sik Kim* Korea National Sport University

요약

이 연구의 주요 목적은 부다페스트(헝가리, 2022)에서 개최되는 World Aquatics 주관 세계선수권대회에서 최고의 성적을 낼 수 있는 혼합 계주팀의 수영 선수의 순위와 나이에 대한 경기력을 분석하는 것이다. 데이터는 데이터베이스 웹사이트(www.worldaquatics.com)에서 4×100m 혼계영 공식 결과, 8개 팀의 결승전에 대한 데이터를 얻었다. 분석은 국가별 최종기록에 나이가 어떠한 영향을 미치는가를 규명하기 위하여 jamovi 2.3.1 기술통계 및 다층모형(Multilevel modeling)분석의 혼합모형(Mixed model)을 사용하였다. 결과는 나이가 경기력에 영향을 주지는 못했다. 팀 내 나이의 차이는 있었지만, 팀 평균은 국가별로 차이가 없었다. 랜덤기울기 모형 분석결과에서도 기울기가 영향을 미치지 않았다. 따라서 400m 혼성 혼계영에서는 8개 팀 내에서 차이의 차이는 있었지만 국가별 경기력에는 영향을 미치지 못하였다. 더 다양한 변인을 파악하고 혼합 릴레이 경기에 대한 기존의 남성 또는 여성 전용 릴레이 라인업과 비교하여 구체적인 전략을 제시해야 할 것이다.

Abstract

The main purpose of this study is to analyze the swimmer's performance on the ranking and age of the mixed relay team that can perform best at the World Aquatics World Championships in Budapest (Hungary, 2022). Data were obtained from the database website (www.worldaquatics.com) for the final of eight teams as a result of the official 4×100m medley relay. The analysis used jamovi 2.3.1 (www.jamovi.org) descriptive statistics and a Multilevel modeling's mixed model to determine how age affects final records by country. The result was that age did not affect performance. There was a difference in age within the team, but there was no difference in the team average by country. The slope did not affect the random slope model analysis results. Therefore, in the 400m mixed medley relay, there was a difference within eight teams, but it did not affect the performance of each country. More diverse variables should be identified and specific strategies should be presented compared to the existing male or female-only relay lineup for mixed relay competitions.

Key words : Mixed medley relay, Swimming performance, Athletics career(Age), Multilevel modeling, Mixed model

* hyosik@knsu.ac.kr

1. 서론

국제수영연맹(World Aquatics)는 2015년 세계 선수권 대회 프로그램의 일환으로 4×100m 혼성 계영과 4×100m 혼성 혼계영 경기의 두 가지 새로운 계영 경기를 포함했다. 혼합 범주의 이 이벤트에서 각 참가 팀은 2명의 남자 선수와 2명의 여자 선수로 구성되며 자유로운 순서로 배열할 수 있다. 이러한 새로운 종목 중 하나인 4×100m 혼성 혼계영도 2021년 도쿄 올림픽 대회의 종목 중 하나로 포함되었다. 이런 식으로 계영 경기는 기존의 4×100m 계영과 4×200m 계영 그리고 4×100m 혼계영에서 혼성 계영과 혼성 혼계영을 포함하면 세계 선수권 대회(22개 종목)나 올림픽 경기(17개 종목)에서 수영한 총 종목 수의 거의 4분의 1을 차지한다(Veiga et al., 2021). 지금까지 수영 종목에서 계영에 대한 연구는 (1)남자 또는 여자 계영팀의 구성, (2)개인 경기와 계영 경기의 차이에 초점을 맞추어 왔다(Veiga et al., 2021). 계영 팀 순서는 수영 선수가 계영 팀에 배치되는 순서를 나타낸다(McGibbon et al., 2018). 국제 경기 계영에서는 팀 개인의 수영 경기력과 4명의 수영 선수의 수행 수준에 따라 다양한 전략이 사용된다(McGibbon et al., 2018; Fischer et al., 2019).

남자 계영부터 여자 계영까지, 메달리스트부터 비 메달리스트까지 차이가 관찰되기는 하지만, 팀은 첫 번째와 네 번째 영자에서 가장 빠른 두 명의 수영 선수를 두 번째와 세 번째 가장 느린 두 명의 수영 선수로 배치하는 경향이 두드러지게 나타나 있다(McGibbon et al., 2018). 그리고 스포츠 경기에서 계영 경기의 주요 과제는 팀 선택과 선수 순서이며 이것은 경기 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문이다[1-3]. 수영에서 계영팀 경기력에 대한 주요 고려 사항에는 플라이нг 스타트 기술과 전환 블록 시간 또한 포함된다[4-6]. 결과적으로, 수영의 계영 문헌의 대부분은 다이빙 출발과 관련된 기술적 구성 요소에 초점을 맞추고 있으며, 여기에는 개별 경기에서 수행되는 플랫 스타트와 두 번째에서 네 번째 계영 위치에 할당된 수영 선수가 수행하는 플라이нг 스타트 간의 차이도 포함된다[7, 8]. 예를 들어, 세계 수영 선수권 대회의 4×200m 자유형 계영에서 우승한 팀은 4번째 영자에 경기를 위해 가장 빠른 수영 선수를 정하는 경향이 있다. 계영팀이 배치되는 순서는 또한 자신의 계영 부분에서 수영 선수의 페이스 전략에 영향을 줄 수 있다(McGibbon et al., 2020).

또한, 레이스와 다르게 계영 경기의 경우 개별 경기를 넘어 계영 경기의 전환 시간과 이점이 연구되었다(예: Hüffmeier, Krumm, Kanthak, & Hertel, 2012; Saavedra et al., 2014; Skorski, Etxebarria, & Thompson, 2015). 그러나 적어도 4가지 주요 문제가 현재까지 완전히 해결되지 않았기 때문에 결과는 결정적이지 않았다. 첫째, 계주 수행을 위한 전환 시간(COT: Change-Over Time, 들어오는 수영 선수의 벽 접촉과 나가는 수영 선수의 발 접촉 시간의 의미가 지나치게 강조된 것으로 보인다. 예를 들어, Siders(2010)는 이 시간 가치가 전문성이 높을수록 감소하고 팀 내 교체 시간이 감소하면 최종 순위가 향상된다고 결론지었다(Saavedra et al., 2014). 마찬가지로, 남자 메달리스트는 남자 비메달리스트보다 전환 시간이 더

짧다는 것을 발견하였다. 이러한 발견과 달리 Fischer & Braun(2019) 및 Kibele(2016)는 전환 시간을 줄이기 위해 수영 선수를 훈련하는 것이 수평 기록력을 향상시키는 것보다 반드시 더 나은 릴레이 시작 수행을 제공하지 않을 수 있음을 보여주었다.

계영팀의 수영 실력은 개인종목에 비해 유의미한 기록 개선을 나타내지 못하는 것으로 보인다. Skorski et al. (2016)는 같은 대회 내에서 개인과 계영 경기를 비교한 결과, 1번 영자로 경기하는 계영 선수들은 개인 경기 기록보다 더 빨리 수영하지 못했다고 보고했다. 두 번째에서 네 번째 계영 위치에 있는 선수들만이 릴레이의 다른 시작 규정으로 인해 더 짧은 스타트 블록 시간의 혜택을 받는 것으로 나타났다. 그러나 이것은 현재 레이스 위치에 따라 달라질 수 있으며 팀 성공 가능성은 그룹 결과에 대한 수영 선수의 동기를 높일 수 있다. 실제로, Hüffmeier et al. (2012)는 수영 선수가 그룹의 성과(즉, 계주에서 나중의 위치)에 매우 중요한 역할을 하거나 팀이 메달을 획득할 좋은 기회를 가질 때 계주 성과가 향상되는 것을 관찰했다. 이러한 전략은 개별 수영 선수의 능력과 예상되는 부분 레이스 포지셔닝에 따라 계영 경기에서 실질적으로 중요할 수 있으며 승패의 차이를 나타낼 수 있다(Ward-Smith & Radford, 2020). 수영 경기 프로그램에 혼성 계영 경기가 포함되면서 코치가 개인의 수영 능력뿐만 아니라 다른 심리적(Deaner et al., 2015), 형태학적(Zamparo, 2006)도 고려해야 하므로 팀 전략에 대한 전술적 옵션이 넓어진다. 에너지(Barbosa et al., 2010) 또는 생체역학(Pelayo et al., 1996) 여성 대 남성 운동 선수의 특징. 여성 수영 선수는 속도 변화가 더 적거나(Veiga et al., 2019) 빠르게 수영하기 위해 스트로크 속도에 더 많이 의존하는 경향이 있다(Pelayo et al., 1996). 그러나 수영에서 남자 세계 기록이 여자 기록의 약 8% 정도 빠르다(Thibault et al., 2010; Millard-Stafford et al., 2018).

다층모형분석을 위한 혼합모형은 국가마다 속한 선수들의 나이와 세계선수권대회 기록의 관계를 추정하는 회귀선을 추정하고, 나이가 세계선수권대회 기록에 미치는 전체적인 효과(overall effect)를 얻기 위해 각 국가의 회귀선을 평균화하여 평균회귀선(mean slope)을 산출하게 된다. 즉 혼합모형은 회귀계수가 클러스터(cluster)마다 달라지도록 하여 각 국가별에 대하여 서로 다른 회귀선을 추정하도록 만든다. 이때 클러스터마다 다른 회귀계수는 랜덤계수(random coefficient)로 정의되며, 이들 계수의 평균(fixed expected value)은 고정계수(fixed coefficient)로 정의된다. 일반회귀선은 두 가지 계수(절편과 기울기)를 가지고 있으므로 절편(또는 상수)만 클러스터마다 달라지게 하거나(vary across cluster) 아니면 기울기 또는 절편 및 기울기 둘 다 클러스터마다 달라질 수 있도록 한다. 실제로 절편 또는 기울기 또는 이들 모두를 랜덤계수(random coefficient)로 정의할 수 있다.

2017년 부다페스트 혼성혼계영 자료는 나이가 세계선수권기록에 미치는 전반적인 영향에 관심이 있으므로 나이의 영향(the effect of age) 고정효과(fixed effect), 즉 참가한 모든 선수에 대하여 추정된 기울기(slope estimate for all swim player)가 된다. 만약

나이 기울기가 국가마다 다를 경우(즉 기울기를 랜덤효과로 설정한 경우), 이때 고정효과는 클러스터 전체에서 평균한(averaged across cluster) 평균 기울기(average slope)로 해석하여야 한다. 만약 나이의 기울기가 랜덤이 아니라면 고정효과(fixed effect)는 단순히 참가자 선수 전체에서 추정된 나이 효과일 뿐이다. 따라서 본 연구의 주된 목적은 혼합모형을 적용하여 세계선수권대회 중 2022년 제19회 세계수영선수권대회 혼성혼계영 종목에 출전한 국가별 최중기록에 나이가 어떠한 영향을 미치는가를 규명하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

계영팀 구성과 성별, 이전 순위의 공식 결과를 분석하기 위해 우리는 국제수영연맹 웹사이트(www.worldaquatics.com)에서 과거 결과 데이터를 검색했다. 세계 수영선수권대회에서 개최되는 WORLD AQUATICS(구 FINA)가 주최한 세계수영선수권대회 중 4×100m 자유형 및 4×100m 혼계영 경기에서 결승 경기의 데이터를 검색하였다. 본 연구에서는 2022년 헝가리 부다페스트에서 개최된 제19회 세계수영선수권대회의 혼성 혼계영 경기를 선정하였다. 성별, 나이, 4×100m 혼계영 종목, 수영 선수의 시즌 100m 최고기록 그리고 각 선수의 100m 계영 부분 기록 등의 변수가 포함되었다. 아래 <표 1>에서는 8개 국가별 출전선수들의 나이, 최고기록, 당해연도 최고기록, 세계수영선수권 구간기록을 보여주고 있다.

<그림 1>은 국가별로 세계선수권 구간기록을 히스토그램으로 나타낸 결과이다. 국가별로 세계선수권 구간기록의 평균이 서로 다를 수 있다. 즉 국가별로 관측치(구간기록)에 유사성(possible dependency)이 있음이 확인되었다. 이러한 관측치(구간기록)의 의존성을 좀 더 구체적으로 파악하기 위하여 산점도를 그려 보았다. <그림 2>는 국가별 출전선수들의 나이와 세계선수권 구간기록 분포에 대한 산점도의 분포이다. 산점도에 보는 것처럼 국가별 나이와 세계선수권구간기록의 분포가 서로 상이함을 알 수 있으며, 특히 국가별 출전 선수들의 나이의 선형관계에서 그 절편과 기울기가 다를 수 있었다. 즉 출전선수들이 속한 국가에 따라 나이와 세계선수권 구간기록의 관계가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 국가를 고려한 다층모형이 필요하다고 할 수 있다.

표 1. 국가별 나이 및 기록

국가*	나이	최고기록	당해연도 최고기록	세계선수권 구간기록
AUS	22.0±2.71	55.0±3.71	55.6±3.42	55.3±3.22
CAN	20.8±2.87	55.5±5.13	55.9±5.05	55.3±5.22
CHN	19.8±1.50	54.9±2.94	55.4±3.29	55.3±3.19
GBR	22.5±2.38	55.2±3.76	55.5±3.80	55.4±4.08
GER	24.0±2.45	56.7±5.66	56.9±5.60	56.5±5.65
ITA	25.0±5.35	55.7±2.42	56.2±2.54	56.6±2.38
RUS	22.3±2.50	55.8±2.84	55.9±2.71	55.8±2.57
USA	23.0±6.00	54.4±6.59	54.6±6.43	54.6±6.43

*AUS:오스트레일리아, CAN:캐나다, CHN:중국, GBR:영국, GER:독일, ITA:이탈리아, RUS:러시아, USA:미국

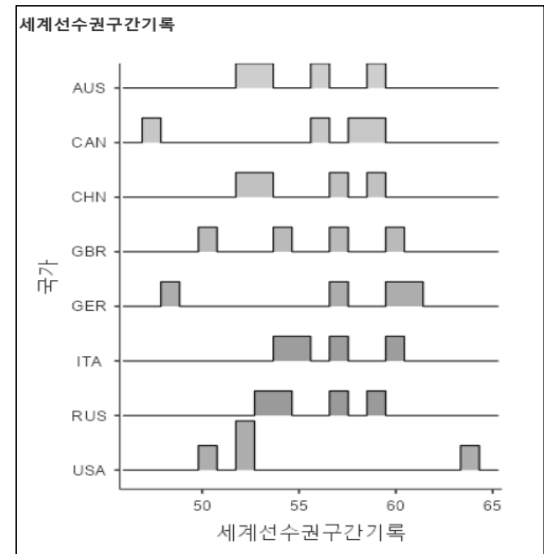


그림 1. 국가별 세계선수권 구간기록

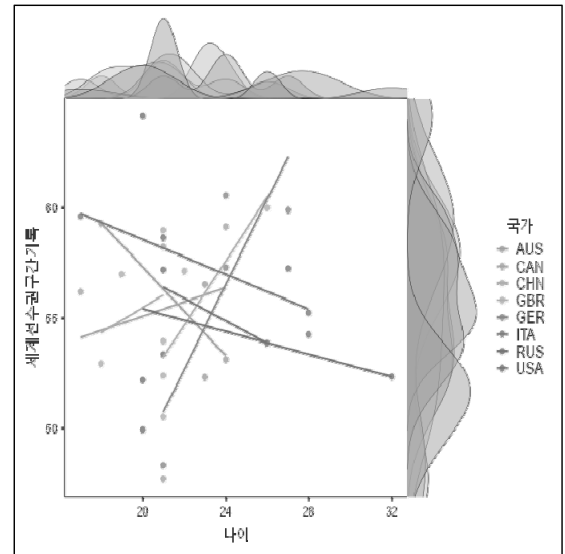


그림 2. 국가별 나이와 세계선수권 구간기록 산점도

2. 자료처리

혼성혼계영에서 나이가 세계선수권기록에 미치는 전반적인 영향에 관심이 있기 때문에 나이의 영향은(the effect of age) 고정효과(fixed effect), 즉 참가한 모든 선수에 대하여 추정된 기울기(slope estimate for all swim player)가 된다. 혼합모형을 적용하여 세계선수권대회 중 2017년 부다페스트 혼성혼계영 종목에 출전한 국가별 최중기록에 나이가 어떠한 영향을 미치는가를 규명하기 위하여 jamovi 2.3.1(www.jamovi.org) 기술통계 및 다층모형분석(Multilevel modeling)을 위한 혼합모형(Mixed model)을 사용하였다. 이때 유의수준은 Alpha=.05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 랜덤절편모형 분석결과

랜덤절편모형은 국가별 회귀선의 절편만을 랜덤효과로 간주하고 기울기는 고정효과로 분석하는 모형으로 종속변수의 평균이 국가별로 다르고, 종속변수에 대한 독립 변수의 기울기는 국가별로 동일하다고 가정하고 분석하는 방법이다. 분석결과 model info에서 모형방정식을 보여주고 있다(표2).

표 2. Model Information

Information	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	세계선수권 기간기록~나이+(1 국가)
AIC	184.3
BIC	190.4
LogLikel.	-88.3
R^2 Marginal	5.63e-5
R^2 Conditional	5.63e-5
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Note, (Almost) singular fit, Maybe random coefficients variances are too small or correlations among them too large.
Note, boundary (singular) fit: see is Singular

R-squared Marginal은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과에 의해 설명되는 분산을 의미하며, R-squared Conditional 은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과와 랜덤효과에 의하여 설명되는 분석을 의미한다.

표3. Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
나이	0.00174	1	30.0	.967

Note, Satterthwaite method for degrees of freedom

우선 Fixed Effect Omnibus tests는 고정효과와 관련된 F 검증을 수행하며, 그 결과 나이(평균)는 세계선수권대회 기록에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다(표 3).

<표 4>는 고정효과모형의 계수 추정결과이다. 고정효과모형 계수 추정결과는 고정회귀계수, 고정(평균) 절편, 그리고 고정효과와 관련된 t-검증 결과를 보여준다. 결과에서 보이듯이 국가를 평균해서(averaging across nation) 나이는 세계선수권기록에 통계적으로 유의하지 않는 것으로 확인되었다($t=-0.0418$, $p>.05$).

표 4. Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% CI		df	t	p
			Lower	Upper			
(Intercept)	55.60	0.69	54.24	56.96	30.0	80.135	<.001
나이	-0.01	0.20	-0.40	-0.39	30.0	-0.042	.967

다음 <표 5>는 Random Component 결과이다. 랜덤계수의 분산과 표준편차를 보여주고 있다. 이 표에서는 랜덤절편의 경우에 해당된다. 절편의 분산이 0으로 매우 적다는 것을 알 수 있다. 국가마다 절편을 다르게 추정하는 것이 타당하지 않음을 확인하였다. 본 자료에서는 0으로 종속변수의 전체 분산 중에서 집단 간 분산(국가 간의 차이로 인한 분산)이 차지하는 비중이 0%에 해당함을 알 수 있다.

표 5. Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
국가	(Intercept)	0.00	0.0	0.00
Residual		3.92	15.4	

Note: number of Obs: 32, groups: 국가 8

절편(평균)값이 국가별로 다른지에 대한 랜덤효과에 대한 우도비 검정(Likelihood Ratio Test) 결과 통계적으로 유의하지 않는 것으로 확인되었다. 즉 절편이 국가별로 동일하다는 영가설을 채택하게 됨을 알 수 있다(표 6).

표 6. Random Effect LRT

Test	N. par	AIC	LRT	df	p
(1 국가)	3.00	183	0.00	1.00	1.000

plots 분석 상자에 수평축에 독립변수인 나이를 지정하면 국가별로 절편에 대한 랜덤효과를 분석할 수 있다.

아래 <그림 3>에서 보이듯이 국가별로 절편이 동일함을 알 수 있다.

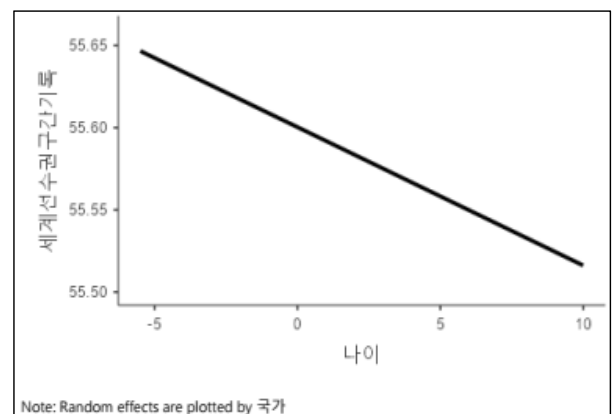


그림 3. 국가별 절편에 대한 랜덤효과 PLOT

2. 랜덤기울기모형 분석결과

앞서 분석한 랜덤절편모형에 기울기도 국가별로 차이가 있다고 가정하는, 즉 랜덤효과로 가정하여 포함하게 되면 랜덤기울기모형이 된다.

분석결과 model info에서 모형방정식을 보여주고 있다(표7).

표 7. Model Information

Information	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	세계선수권 구간기록~1+나이+(1 국가)+(0+나이 국가)
AIC	186.3
BIC	193.9
LogLikel.	-88.3
R^2 Marginal	5.63e-5
R^2 Conditional	5.63e-5
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Note, (Almost) singular fit, Maybe random coefficients variances are too small or correlations among them too large.
Note, boundary (singular) fit: see is Singular

R-squared Marginal은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과에 의해 설명되는 분산을 의미하며, R-squared Conditional 은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과와 랜덤효과에 의하여 설명되는 분석을 의미한다.

F검증 결과 모형이 유의하지 않는 것으로 나타났다($F=0.00174$, $p>.05$) 각 계수를 살펴보면 나이의 계수가 -0.00841 , 절편이 55.60031 로 나타나 고정효과모형의 결과와 다르지 않았다. 이는 랜덤 기울기의 분산이 크지 않음을 암시하고 있다. 랜덤효과에 대한 우도비 검정결과 역시 동일한 값을 보이고 있었다(표 8). 즉 기울기가 국가별로 동일하다는 영가설을 채택하게 됨을 알 수 있다. 또한 <그림 4>에서 보듯이 국가별로 기울기가 다르지 않았음을 확인할 수 있었다.

표 8. Random Effect LRT

Test	N.par	AIC	LRT	df	p
(1 국가)	4	185	0.00	1.00	1.000
나이 in (0+나이 국가)	4	185	0.00	1.00	1.000

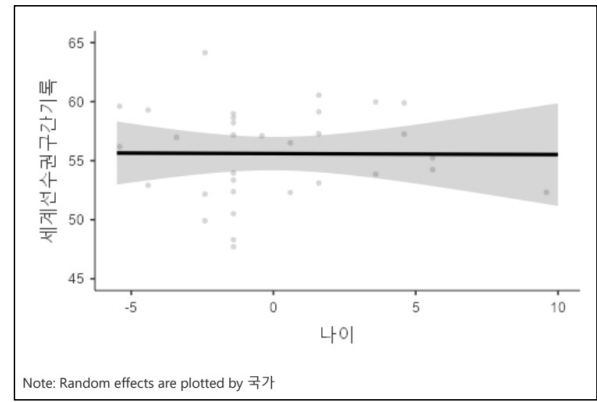


그림 4. 국가별 기울기에 대한 랜덤효과 PLOT

IV. 논의

현재 연구는 혼합모형을 적용하여 혼성 혼계영 종목에서 선수들의 수영 최고기록과 연령에 따라 경기 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 이전 연구에서는 개인 수영 기록과 성별에 따라 계영 수영 경기 간의 경기력과 페이스 차이를 조사했지만, 다양한 계영 혼계영 및 혼성 경기에서 최고의 경기력을 구사하는 연령대에 대한 통찰력을 제공한 연구는 없었다.

2019년부터 50m 풀의 세계수영선수권대회와 올림픽에서 개최된 혼성 계영과 혼계영 전체 경기를 종합한 후, 본 연구의 주요 결과를 본다면 혼성 계영 및 혼계영의 경우 과거 2019년 광주 세계 수영선수권대회 혼성 계영에서는 결승 진출 모든 나라에서 남자-남자-여자-여자 선수의 순서로 진행되었는데 2022년 부다페스트 세계수영선수권대회에서도 마찬가지였다. 전통적으로 동일한 성별의 계영팀은 첫 번째와 마지막 계영 구간에서 가장 빠른 수영 선수를 찾는 경향이 있지만(McGibbon et al., 2018), Veiga et al., (2021)의 연구에서도 성별이 다른 혼성 계영에서 분석된 팀의 가장 적합한 조합은 남자-남자-여자-여자 선수 순서였다고 보고 하였다. 즉 혼성계영에서 순서의 조합이 경기력에 결정적 영향을 미칠 것이라 예상하였다. 하지만 영법이 동일한 혼성 계영과 달리 영법이 순서에 따라 달라지는 혼성혼계영의 경우는 나라마다 전략적 선택에 따라 달라졌다. 2019년도 이전 혼성 계영 경기의 경우 남자 수영 선수가 첫 번째와 네 번째 계영 구간에서 경쟁하는 것을 나타냈지만 Veiga et al., (2021)의 데이터에 따르면 성별 변수는 팀 순서 전략(적어도 자유형에서는)을 변경하는 것으로 보인다. 두 명의 가장 빠른 수영 선수(남자)가 처음 두 개의 계영 구간에 있을 때 이것이 팀에 더 큰 이점을 제공하는 것으로 보인다.

실제로, 현재 연구에서 랜덤절편모형 분석결과 model info에서 모형방정식을 보여주었다. R-squared Marginal은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과에 의해 설명되는 분산을 의미함으로써 R-squared Conditional은 종속변수의 전체 분산 중에서 고정효과와 랜덤효과에 의하여 설명되는 분석에서 경기 결과에 나이가 영향을 주지는 못했고 개인 수영 경기력(시즌 최고기록)과 연령은 분

석된 모든 경기에서 비슷한 평균 연령(22.19~23.75세)을 보였다. 그리고 2019년 광주세계수영선수권대회의 혼성 계영에서는 19세 여자 선수(미국 Taylor ruck, 캐나다 Penny oleksiak)가 가장 어렸고 특히 세계 랭킹 17위였던 이탈리아의 Federica pellegini(30세) 여자 선수는 가장 나이가 많은 선수로 출전하였다. 그리고 이탈리아의 Federica pellegini 선수는 2020 도쿄 올림픽에도 출전하였지만 이 대회에서는 네덜란드의 여자 선수 Femke heemskerk(33세)가 혼성 계영에 출전하였으며 나이에 불구하고 세계 랭킹 8위를 유지하였다(worldaquatics.com). 분석된 대회에서 가장 어린 선수는 Yujie cheng(16세)로 당시 세계 랭킹 10위로 2022년 부타페스트 세계수영선수권 혼성 계영에 중국의 마지막 여자 영자로 출전하였다.

현재 연구의 랜덤기울기모형 분석결과를 살펴보면 F검증 결과 모형이 유의하지 않는 것으로 나타났다($F=0.00174$, $p>.05$) 각 계수를 살펴보면 나이의 계수가 -0.00841 , 절편이 55.60031 로 나타나 다르지 않았다. 이는 랜덤 기울기의 분산이 크지 않음을 암시하고 있다. 랜덤효과에 대한 우도비 검정결과 역시 동일한 값을 보이고 있었다. 즉 기울기가 국가별로 동일하다는 영가설을 채택하게 됨을 알 수 있다. 앞서 언급한 국가별 계영의 팀원은 4명이며 팀 내에서 나이의 분포는 다양하지만, 결승 진출 국가의 평균 나이(23세)를 기준으로 통계적으로 유의하지 않았지만 우승팀이 평균적 나이(21세)가 어렸고 메달을 획득한 국가를 살펴보면 미국이 평균 나이보다 대체적으로 어린 선수들을 기용하는 편이었으며 이것은 나이가 어림에도 불구하고 세계 랭킹이 상위권이어서 경기력이 높다고 할 수 있다. 같은 선상에서 호주 수영은 2022년에 남자-남자-여자-여자로 구성하여 4×100 혼성 계영을 하는 동안 3분19초 38의 기록으로 세계에서 가장 빠른 팀으로 등극하였고 현재에도 기록이 유지되고 있다. 이때 선수들의 연령은 결승팀 출전국의 평균 나이(22.15 ± 3.16)보다 3명이 많았으며 Madison wilson(여자선수)는 28세로 평균보다 6세가 많음에도 불구하고 세계랭킹 7위를 유지하였다.

선행연구(Wu, et al., 2021)에서 살펴보았듯이 계영팀 경기력은 특성 출발 순서나 나이 순위 등 다양한 변수가 있었지만, 경기력에 대한 문헌에서는 거의 증거가 발견되지 않았으며 결정은 아마도 코치의 경험과 수영 선수의 특성에 기초할 것이다. 예를 들어, 영국은 2020년 도쿄 올림픽에서 여자(배영)-남자(평영)-여자(접영)-남자(자유형) 순서로 $4 \times 100m$ 혼성 혼계영에서 1위를 차지하였지만 2022년 부타페스트 세계수영선수권대회에서는 미국이 남자(배영)-남자(평영)-여자(접영)-여자(자유형)으로 우승을 하여 혼성 혼계영에서는 나이에서 오는 통계적 차이가 없음에도 불구하고 순서를 전략적 차원에서 계영의 순서와는 다르게 배치하고 있다. 또한 릴레이 수영 경기력에 영향을 미칠 수 있는 많은 변수 중 팀 경쟁 심리가 중요하다(Williams et al., 1989; Huffmeier et al., 2012). 릴레이 경기를 하는 동안 앞선 선수를 따라잡는 수영과 먼저 앞서가는 상태에서 우위를 점하는 것은 매우 중요하다. 즉 지상에서 펼쳐지는 릴레이와 다르게 수영은 8개 레인 중 수중에서 역영하는 동작을 확인 할 수 있는 양쪽 레인을 제외하고 매 순간 호흡하는

동작 및 턴을 통해서 짧게나마 상대 팀 또는 선수를 확인할 수 있다. 그리고 킥을 통해 펼쳐지는 물살에서 먼저 앞서나가는 팀이 매우 유리할 수 있기 때문이다. 물론 전체 결과에서 계영 구간 기록의 분산은 결승전보다 예선에서 더 컸으며 분명히 팀들은 결승전에서 가장 빠른 선수 라인업을 선택했지만, 예선에서는 가장 빠른 수영 선수 몇 명을 따로 남겨 둔다. 한 경기 내에서 동일한 선수가 예선에서 결승까지의 전형적인 향상 비율은 약 1.2%일 수 있으며(Pyne et al., 2004), 이는 현재 연구에서 발견된 혼성 혼계영 시간의 분산보다 상당히 적다. 또한, 계영 구간에서 남자보다 여자 선수의 편차가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 예선전에 남겨 두는 선수들이 주로 여자 선수이거나 심지어 팀의 성적 범위가 여자 선수 쪽에서 더 크다는 것을 나타낼 수 있다.

본 연구의 기술통계 및 혼합모형 분석은 혼성 혼계영에서 나이와 상관된 계영 경기력에 통계적 영향을 미치지 않는 않았지만 2019년 광주 세계수영선수권 결승 진출 국가에서는 평균 연령보다 어린 선수가 세계 랭킹이 높았었지만 2020년 도쿄 올림픽 혼성혼계영 우승팀 영국(24.75 ± 1.26 세)은 결승 진출국 전체 평균 연령(23.78 ± 3.99 세) 보다 높았다. 이는 것을 보여주었다. 이전의 연구는 수영선수들이 더 빨리 수영하기 위해 더 많은 노력을 기울이는 데 있어 현재의 레이스 위치(계영 경기 우승 가능성)의 중요성을 지적하였다(Huffmeier et al., 2012). 혼성 혼계영에서 4개의 계영 구간(배영, 평영, 접영, 자유형)은 전체 계영 경기력에 대한 통계적으로 유의한 효과를 나타내지 않았지만 예선전에서는 계영 팀이 결승 진출(최종 시간에 관계없이 가장 빠른 8개 팀)을 목표로 결승 위치(최종 시간이 아닌)를 놓고 경쟁하기 때문에 마지막 계영 구간(자유형)에서는 상대보다 먼저 결승벽을 터치하는 것이 중요하다.

이는 선수가 시간이 아닌 결승 위치를 놓고 경쟁하는 매스 스타트 규정에서 마지막 경기 분할의 중요성과 유사하다(Rodríguez & Veiga, 2018; Menting et al., 2019). 그러나 결승에서는 팀들이 가능한 최고의 위치 외에 가능한 최고의 기록(Abbiss & Laursen, 2008)을 위해 경쟁할 수 있으므로 가장 느린 구간(평영)에는 계영 경기력이 대단히 중요하다. 이 경우 계영의 마지막 구간에 배치된 여자 수영 선수들은 마지막 기록에 결정적인 이점을 나타낼 수 있다. 릴레이 경기에서 경기력을 향상시킬 수 있는 방법으로 보통 지도자들은 전환 시간과 팀 내 세계랭킹 그리고 순서 등에 많은 고민을 한다. 혼성 계영에서 남자 수영 선수의 접근 속도는 여자 선수보다 상당히 빠르며 그 반대도 마찬가지이다(Ribeiro et al., 2019). 이것은 앞으로 나가는 수영선수들이 계영 순서에서 여자 선수나 남자 선수들의 위치가 연속적이지 않을 때 스타트 동작의 타이밍 조정을 더 어렵게 만들 수 있다. 실제로, 스타트 동작의 시기는 들어오는 수영 선수의 성별에 따라 달라질 것이다. 이는 특히 혼성 계영서는 전환 시간이 남자 선수에 비해 여자 계영에서 결승 경기력에 더 중요하기 때문에 관련이 있을 수 있다(Savedra et al., 2014). 그러나 경험치를 중요하게 여기는 팀 릴레이 경우 연령에 따른 이 가설을 확인하기 위해서는 더 많은 연구가 필요할 것이다. 본 연구는 분석된 혼성 혼계영의 데이터 측면에서 제한적이다. 이

는 최근 국제수영연맹이 포함하는 다양한 경기에 이러한 이벤트가 포함되었기 때문이다. 일본에서 열리는 후쿠오카 세계수영선수권권 대회는 세계 최고 수준의 혼성 계영 및 혼계영에 사용할 수 있는 데이터를 증가시킬 것이다.

V. 결론 및 제언

세계 수영 선수권 대회 및 올림픽 경기에서는 릴레이 경기에 참여하는 팀들의 연령은 다양하다. 즉 경험이 많은 선수와 어린 선수가 섞여 있지만, 팀 내에서 선수들의 선발 과정은 주로 세계 랭킹에 가장 빠른 선수 위주로 선발을 한다. 따라서 선행연구에서 계영의 경우 가장 빠른 선수가 첫째 영자와 두 번째 빠른 선수가 마지막 영자라면 혼성 혼계영에서는 결승 진출국 모두에서 가장 일반적인 성별 전략이다. 반면 혼성 혼계영의 경우 결승 진출국 모두에서 다양한 성별의 대결이 같은 종목(배영에서 남자선수 또는 여자선수로 기용)에서 펼쳐짐으로서 지도자의 전략적 판단이 경기에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 혼성 혼계영 우승팀의 경기력은 세계 랭킹이 가장 빠른 나라에서 우승을 하였다. 이는 경기력의 차이는 전체 4명의 기록이 우선 차이를 하고 나서 다양한 환경적 변화 및 현장에서 나타나는 전환 시간 등이 영향을 미칠 수 있을 것으로 본다. 따라서 현재 연구의 혼성 혼계영 경기력에 따른 기술 통계와 혼합모형 분석은 사전 경기를 하기전에 각 개인의 경기력 수준을 알 수 있다면 경기의 예측 또한 할 수 있는 것으로 사료되며 더 많은 데이터를 통해 분석해야 할 것이다.

참고문헌

- Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38, 239-252.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262-269.
- Deaner, R. O., Carter, R. E., Joyner, M. J., & Hunter, S. K. (2015). Men are more likely than women to slow in the marathon. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(3), 607.
- Fischer, S., Braun, C., & Kibele, A. (2019). Jason Lezak again and again-linear mixed modelling analysis of change-over times in relay swimming races. *Journal of Sports Sciences*, 37(14), 1609-1616.
- Hüffmeier, J., Krumm, S., Kanthak, J., & Hertel, G. (2012). "Don't let the group down": Facets of instrumentality moderate the motivating effects of groups in a field experiment. *European Journal of Social Psychology*, 42(5), 533-538.
- Kibele, A., & Fischer, S. (2018). Relay starts in swimming—a review of related issues. *The Science of Swimming and Aquatic Activities*. New York, NY: Nova, 59-78.
- McGibbon, K. E., Pyne, D. B., Shephard, M. E., & Thompson, K. G. (2018). Pacing in swimming: a systematic review. *Sports Medicine*, 48, 1621-1633.
- McGibbon, K. E., Shephard, M. E., Osborne, M. A., Thompson, K. G., & Pyne, D. B. (2020). Pacing and performance in swimming: differences between individual and relay events. *International Journal of Sports Physiology and performance*, 15(8), 1059-1066.
- McLean, S. P., Holthe, M. J., Vint, P. F., Beckett, K. D., & Hinrichs, R. N. (2000). Addition of an approach to a swimming relay start. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(4), 342-355.
- Menting, S. G. P., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C., & Hettinga, F. J. (2019). Pacing in lane-based head-to-head competitions: A systematic review on swimming. *Journal of Sports Sciences*, 37(20), 2287-2299.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Strokings characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(2), 197-206.
- Pyne, D. B., Trewin, C. B., & Hopkins, W. G. (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 22(7), 613-620.
- Qiu, X., Veiga, S., Lorenzo, A., Kibele, A., & Navarro, E. (2021). Differences in the key parameters of the individual versus relay swimming starts. *Sports Biomechanics*, 1-13.
- Ribeiro, L., Costa, A. M., Louro, H., Sobreiro, P., Esteves, P., & Conceição, A. (2020). Estimating time-to-contact with temporal occlusion in relay swimming: a pilot study. *European Journal of Sport Science*, 20(5), 592-598.
- Rodriguez, L., & Veiga, S. (2018). Effect of the pacing strategies on the open-water 10-km world swimming championships performances. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 694-700.
- Saavedra, J. M., Garcia-Hermoso, A., Escalante, Y., Dominguez, A. M., Arellano, R., & Navarro, F. (2014). Relationship between exchange block time in swim starts and final performance in relay races in international championships. *Journal of Sports Sciences*, 32(19),

1783-1789.

- Siders, W. (2010). Competitive swimming relay exchange times: A descriptive study. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(3), 381-387.
- Skorski, S., Etxebarria, N., & Thompson, K. G. (2016). Breaking the myth that relay swimming is faster than individual swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 410-413.
- Skorski, S., Etxebarria, N., & Thompson, K. G. (2016). Breaking the myth that relay swimming is faster than individual swimming. *International physiology and Performance*, 11(3), 410-413.
- Veiga, S., Del Cerro, J. S., Rodriguez, L., Trinidad, A., & González-Ravé, J. M. (2021). How Mixed Relay Teams in Swimming Should Be Organized for International Championship Success. *Frontiers in Psychology*, 12, 421.
- Veiga, S., Rodriguez, L., González-Frutos, P., & Navandar, A. (2019). Race strategies of open water swimmers in the 5-km, 10-km, and 25-km races of the 2017 FINA World Swimming Championships. *Frontiers in Psychology*, 10, 654.
- Ward-Smith, A. J., & Radford, P. F. (2002). A mathematical analysis of the 4×100 m relay. *Journal of Sports Sciences*, 20(5), 369-381.
- Williams, K. D., Nida, S. A., Baca, L. D., & Latané, B. (1989). Social loafing and swimming: Effects of identifiability on individual and relay performance of intercollegiate swimmers. *Basic and Applied Social Psychology*, 10(1), 73-81.
- Wu PP-Y, Babaei T, O' Shea M, Mengersen K, Drovandi C, McGibbon KE, et al. (2021). Predicting performance in 4 x 200-m freestyle swimming relay events. *PLoS ONE* 16(7), 1-13.
- WWW. World aquatics, org
- Zamparo, P. (2006). Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 52-58.