



출처: shutterstock

엘리트 선수들의 근신경 피로 모니터링



서태범

제주대학교 체육학과 교수
운동생리학 전공
스포츠의학, 트레이닝, 운동생화학에 관심
seotb@jejunu.ac.kr

엘리트 스포츠 현장에서 선수들의 근신경 피로는 훈련과 경쟁으로 발생하는 필연적인 현상이고, 누적된 피로는 선수의 정신적 또는 신체적 방해를 유도해 시합과 같은 경쟁에서 성과를 저해할 수 있다. 따라서 스포츠 과학자들은 근신경 피로를 측정할 수 있는 신뢰성 높은 프로그램을 구축하기 위해 노력해야 하고, 코치나 트레이너들은 이러한 피로의 생체내 기전 및 이를 극복할 수 있는 방법에 대한 전반적인 지식을 갖추어야 한다. 또한 스포츠과학자와 코칭스텝은 피로 모니터링 결과를 바탕으로 한 개인별 맞춤 훈련 프로그램 적용 방법에 대해 구체적으로 논의해야 한다.



출처: shutterstock

현재까지 보고된 근신경 피로 모니터링은 유효성과 신뢰성이 평가된 주관적인 방법과 객관적인 방법으로 분류된다. 주관적인 피로 모니터링은 설문지를 이용해 선수가 자신의 생각에 따라 문항에 답을 표기하는 선수가 신고 방법으로 진행되고, 객관적인 모니터링은 인체의 피로를 확인할 수 있는 여러 생체 물질 측정을 통해 결과를 도출한다.

지금부터 엘리트 선수들의 근신경 피로 모니터링에 대해 구체적으로 알아보자.

피로 넌 누구냐?

인체는 수행하는 운동 강도와 운동량에 적응하면서 트레이닝의 효과를 얻게 된다(Fry, Morton & Keast, 1991; Lehmann et al., 1992). 특히, 신체 능력의 한계를 초월해야 하는 엘리트 선수들은 트레이닝 강도, 시간, 빈도를 증가시켜 자신의 한계를 극복하는 과부하 트레이닝 방법이 빈번하게 적용 되고(Hollander, Meyers & LeUnes, 1995), 대부분의 지도자들은 최상의 경기력을 발휘하기 위해서 필연적이라 인식하고 있다(서태범, 2014; 임인수, 2000).

선수의 한계를 극복하는 운동, 즉 고강도 운동은 정신적 또는 신체적으로 지치게 만들고, 내일의 훈련을 수행함에 있어 여러 가지 문제점을 발생시킨다. 따라서 체육 분야에서 피로는 지속적인 고강도 운동으로 인해 다음 훈련에 대한 부정적인 주관적 태도를 증가시키고 운동기능을 감소시키는 부산물 축적의 결과라 정의할 수 있다(Knicker et al., 2011).

중추피로와 말초피로

학문적으로 피로는 신경 생리학적 또는 심리적 변화를 유도하는 중추피로와 에너지를 공급하는 에너지 시스템의 변화로 발생하는 말초피로로 구분된다.

중추신경계는 뇌와 척수로 구성되어 있고, 근육의 움직임을 유도하기 위해 뇌에서 전기적인 자극을 보내고, 척수의 운동뉴런에서 시냅스를 거친 후 신경과 근육 연결에서 아세틸콜린이라는 중요한 신경전달물질 분비를 분비한다.

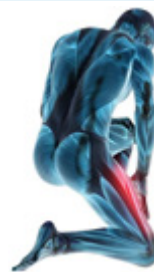
인체는 어떠한 상황에서도 생리적 변화 없이 원래의 상태를 유지하려는 항상성을 가지고 있는데, 근신경 피로는 이러한 항상성을 무너뜨려 뇌와 근육 사이의 신호전달에 문제를 발생시킨다. 다시 말해, 근신경 피로는 동일한 움직임을 수행함에 있어 정상적인 상황과 달리 서로 다른 양의 신경전달물질을 분비하여 움직임을 완료하는데 시간적 또는 행동학적 차이를 초래한다(Noakes, 2012).

반면에 말초 피로는 근육 내에서 발생하는 피로를 의미하며, 근육 내 글리코겐, 인산 화합물 또는 아세틸콜린의 고갈, 그리고 피로관련 대사산물로 잘 알려진 젖산의 혈액 내 축적이 그 원인인 것으로 알려지고 있다(Asmussen, 1979; Kirkdenall, 1990; Zajac et al., 2015)



중추피로(Central fatigue)

ATP 생성과 관련된 말초피로에 영향
젖산과 수소이온 증가에 따른 낮은 pH로 세포 활동 지장
신경전달물질 분비 차단



말초피로(Peripheral fatigue)

저혈당
근글리코겐 고갈
젖산 축적
탈수

피로 모니터링 어떻게?

근신경 피로도가 높은 상태에서의 지속적인 훈련은 훈련의 효과 증대보다는 부상 발생률을 증가시킨다. 따라서 스포츠 현장의 모든 코치, 트레이너 또는 스포츠과학자들은 엘리트 선수들의 피로도를 예측하고, 선수의 상태에 따라 훈련 강도, 훈련 량, 훈련 빈도를 최적화시키는 것이 중요하다.

서두에서 말한 것처럼, 피로 모니터링 시스템은 객관적인 요소와 주관적인 요소 모두를 포함하고 있어야 하고, 두 측면을 평가하는 프로토콜로 구성되어 데이터를 수집하는 것이 가장 보편적이다.



출처: shutterstock

주관적인 피로 검사방법은 웰니스 질문지를 주로 사용하고, 선수 자가 신고 방법으로 진행된다. 본 질문지는 지난 밤에 어떻게 잤는가?, 현재 스트레스 수준은 어느 정도인가?, 신체 통증은 있는가? 또는 자신이 얼마나 피곤하다고 생각하는가? 등과 같은 다양한 주제를 다룰 수 있고(Knicker et al., 2011), 코치나 스포츠과학자는 피로와 관련 있는 중요한 사항들로 질문 목록과 설문지 구조를 재구성할 수 있다. 또한 웰니스 검사는 비용이 적게 들고, 즉각적인 피드백을 제공 할 수 있다는 장점이 있다. Taylor 등(201)은 50개의 엘리트와 프로 구단에서 웰니스 설문지를 사용해 보았고, 이 중 84%의 응답자들이 맞춤형 설문지를 선호한다고 보고하였다.

On a scale from 1 to 10, please circle the corresponding number :

overall energy level	Very tired	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Very fresh
How did you sleep?	Very Poor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Very restful
Overall muscle feeling	Very sore	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Excellent
Overall stress level	Highly stressed	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Very relaxed
How is your mood and social interactions?	Highly annoyed and irritable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Very positive mood

웰니스 설문지 Gastine et al., (2013)

웰니스 설문지는 10점 리커트 척도를 사용하였고, 참가자가 평가를 더욱 쉽고, 정확하게 할 수 있도록 표에서 선택하는 방식을 적용하였다. 선행연구들은 피로도 등급 척도가 생리적 변인과 높은 상관관계가 있기 때문에, 피로를 모니터링하는 방법으로 사용함에 문제가 없음을 증명하였다(Micklewright et al., 2017).

객관적인 피로 검사 방법으로는 반동동작 점프(Countermovement Jump, CMJ), 심박 변이 (Heart Rate Variability, HRV) 그리고 타액 호르몬 측정(Saliva hormone measures)이 적용되어왔다.

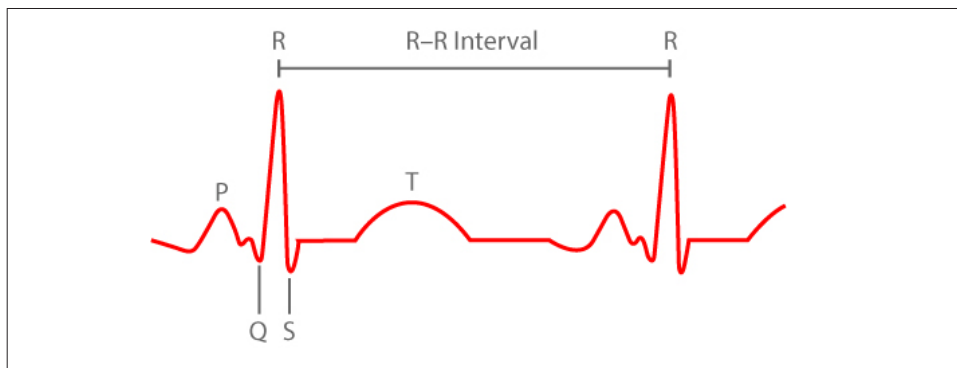
CMJ 테스트는 단순 반복을 통해 피로를 모니터링하는 대표적인 방법으로, 측정 소요시간이 짧은 것이 특징이다. CMJ는 파워, 속도 그리고 점프높이를 측정할 수 있으며, 시험과 관련된 피로를 예측하는데 유용하게 사용된다. CMJ의 신뢰성에 관한 151편의 선행연구에서는 평균 CMJ 높이가 가장 높은 CMJ 높이보다 신경근 피로를 확인하는데 더욱 중요한 지표로 사용되고 있음을 보고하고 있다(Johnstone et al., 2015; Rose et al., 2016; Twist et al., 2012).



반복동작 점프 측정 결과의 예

출처 : <https://simplifaster.com/articles/vertical-jump-testing/>

HRV는 단순히 심장 박동과 심장 박동의 시간 차이를 측정 한 것으로, 자율신경계의 반응을 예측할 수 있다. HRV는 측정하기가 다소 어렵고 시간이 오래 걸리는 단점이 있지만, 현재 스포츠 현장에서는 훈련에 대한 신체 반응 및 관련 피로도를 측정하기 위해 자주 사용되고 있다. HRV를 가장 정확하게 측정하기 위해서는 선수가 완전히 신체적/정신적으로 이완될 수 있는 휴식이 되도록 시간을 충분히 제공해야 한다(Flatt and Esco, 2015). 한 가지 주의할 사항은 HRV 결과 하나만으로 피로도를 예측하지 않아야 한다는 것이다. 왜냐하면 HRV는 선수의 측정 자세(예: 앉은 자세 vs 선 자세) 또는 선수의 회복 정도에 따라 결과가 다르게 해석될 수 있기 때문이다. 따라서 HRV를 이용하여 선수의 피로를 관찰하고자 한다면, 반드시 HRV이외의 다른 측정방법들이 동원되어야 한다.



심박변이 측정 방법

출처 : <https://www.myithlete.com/what-is-hrv/>

앞서 설명한 두 가지 피로도 예측 방법보다 더욱 정확한 측정 결과를 제공하는 방법은 타액을 이용한 피로 관련 호르몬 농도를 측정하는 것이다. 수많은 타액 호르몬 중 코티솔과 테스토스테론은 신체활동 중/후에 변화하기 때문에 피로를 예측할 수 있는 중요한 변인이다. 예를 들어 럭비 경기에서 코티솔 수치는 경기 전 안정 시 수준의 약 2.5배 증가하고, 경기 후 4시간 이내에 다시 안정시 수준으로 회복되는 반면, 테스토스테론 수치는 감소한다. 5일간의 회복 후 코티솔 수치는 낮아지고 테스토스테론 수치는 안정시보다 높게 나타나 테스토스테론-코티솔 비율이 높아진다. 시합 후 또는 회복 중에 관찰되는 높은 테스토스테론-코티솔 비율은 럭비 시합에 의해 유발된 항상성 파괴로 발생된 것이라 생각할 수 있다(ElIoumi et al., 2003).

테스토스테론-코티솔 비율은 안정시와 비교할 때 선수가 훈련이나 경쟁에 어떻게 대처하고 있는지, 어느 정도 회복 했는지를 알 수 있는 중요한 지표가 된다. 타액을 이용한 호르몬 분석은 매우 정확한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 검사를 수행하는데 경제적인 부담이 크다는 단점도 가지고 있다.

결론적으로, 매일 반복되는 훈련을 수행해야 하는 엘리트 선수들은 피로에 쉽게 노출되고, 이



타액 내 호르몬 검사

출처 : <https://dentistryinsider.tamhsc.edu/theres-something-in-the-saliva/>



출처: shutterstock

러한 피로는 선수의 경기력 저하뿐만 아니라 부상을 초래하여 선수생명을 단축시킬 수 있다. 따라서 선수들의 근신경 피로도를 측정하기 위한 테스트 방법을 선택할 때, 코칭스텝과 스포츠과학자들은 “어떤 측정 방법을 선택할 것인가?”, “어떻게 정확하게 측정할 것인가?”를 고민해야 한다. 신뢰성 높은 피로 모니터링 결과는 선수들의 정신적/신체적 상태를 파악할 수 있고, 이는 코치나 트레이너가 개인별 맞춤형 훈련 프로그램을 구축하는데 필요한 기초자료가 될 것이다.

[참고문헌]

서태범(2014). 비침습적 분석방법을 이용한 overtraining 관련 변인 조사-실시간 분석 Kit 개발을 위한 기초연구. 국민체육진흥공단 한국스포츠개발원 기본연구 결과보고서.

임인수(2000). 과다훈련이 운동수행력과 내분비 및 면역반응에 미치는 영향. 운동과학, 제9권 제2호, 254-260.

Fry, R. W., Morton, A. R., & Keast, D. (1991). Overtraining in athletes. Sports Medicine, 12(1), 32-65.

Lehmann, M., Baumgartl, P., Wiesenack, C., Seidel, A., Baumann, H., Fischer, S., et al. (1992). Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle-and long-distance runners. European journal of applied physiology and occupational physiology, 64(2), 169-177.

Hollander, D. B., Meyers, M. C., & LeUnes, A. (1995). Psychological factors associated with overtraining: implications for youth sport coaches. Journal of Sport Behavior, 18(1), 3-20.

Knicker AJ, Renshaw I, Oldham AR, Cairns SP. (2011). Interactive Processs Link Mulitple Symptoms of Fatigue

in Sport. Sports Medicine. 41(4).

Noakes, T.D. (2012). Fatigue Is a Brain-Derived Emotion That Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. 82.

Zajac A, Chalimoniuk M, Maszczyk A, Gołaś A, Lngfort J. (2015). Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise – A Critical Review. Journal of Human Kinetics volume 49;159-169.

Kirkdenall, DT. (1990). "Mechanisms of Peripheral Fatigue." Medicine and Science in Sports and Exercise. 22. 44-9.

Asmussen, E. (1979). "Muscle Fatigue." 313-321.

Taylor, K, Chapman, DW, Cronin, JB, Newton, MJ, Gill, N. (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: A survey of current trends. J Aust Strength Cond 20: 12-23.

Gastin P.B., Meyer, D., Robinson, D. (2013) Perceptions of wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. Journal of Strength & Conditioning Research, E-Pub Ahead of Print.

Micklewright D, Gibson ASC, Gladwell V, Salman AA. (2017). Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. Sports Medicine.

Twist C, Waldron M, Highton J, Burt D, Daniels M. (2012). Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. J Sports Sci. 30:359-367.

Johnston RD, Gabbett TJ, Jenkins DG, Hulin BT. (2015). Influence of physical qualities on post-match fatigue in rugby league players. J Sci Med Sport. 18:209-213.

Elloumi M, Maso F, Michaux O, Robert A, Lac G. (2003). Behavior of saliva cortisol, testosterone, and the T/C ratio during a rugby match and during the post-competition recovery days, European Journal of Applied Physiology.