JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(5): 591-608
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.5.591
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Development and Validation of Agricultural Whole Body Assessment (AWBA)

Yong-Ku Kong[1], Kyung Suk Lee[2], Ju-Hee Lee[1], Kyeong-Hee Choi[1]

[1]Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419
[2]National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, 54875

농작업 자세 평가도구의 개발과 타당성 검증 연구

공용구[1], 이경숙[2], 이주희[1], 최경희[1]

[1]성균관대학교 산업공학과
[2]국립농업과학원 농촌진흥청

Corresponding Author
Kyeong-Hee Choi
Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419
Mobile : +82-10-4596-9850
Email : kyunghe7@naver.com

Received : August 02, 2018
Revised : September 06, 2018
Accepted : October 12, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: The purposes of this study were to validate the accuracy of AWBA (Agricultural Whole Body Assessment) by comparing with expert's evaluation and to suggest the improvements of AWBA based on the results of this study.

Background: In the agriculture field, many tasks could have awkward postures such as back, neck, and knee flexion according to the crops and growing processes. Many risk assessment tools such as RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), OWAS (Ovako Working posture Analysis System) have been used to quantify these awkward working postures. However, existing posture assessment tools were developed focused on the manufacturing industry, not on the agricultural tasks which require different types of working postures with the industry sites. Thus there are many limitations for applying these assessment tools to evaluate agricultural working postures. To overcome these limitations, AWBA has been developed with focusing on the agricultural tasks.

Method: The validation study of AWBA was conducted based on comparison with the expert's evaluation results. For validation study, a total of 80 working postures were selected from pepper and bean crops. At least one representative working posture was obtained from each unit work for each crop, and the experts were asked to evaluate subjective risk levels for all 80 working postures with 4 risk levels. To compare the agreements between AWBA analyses and experts' evaluations vs. between other existing assessment tools' analyses and experts' evaluations, percent of agreement and weighted kappa analysis were applied. Based on these results, improvements of AWBA were also suggested in this study.

Results: The largest percent of agreement (44.4%) was obtained from AWBA and it is significantly larger than the percent of agreement of existing assessment tools [RULA (28.3%), REBA (37.6%), OWAS (28.6%)]. Kappa values of AWBA and REBA were 0.44 and 0.47, which means 'moderate consistency' also significantly larger than results of RULA and OWAS. Results also showed that there are some difference between AWBA and expert's evaluation at the back flexion posture (at 90°) and standing posture. Based on this, ABWA was revised and thus a revised Kappa value has been changed to 0.62 which means 'substantial to almost perfect'.

Conclusion: The agreement between AWBA and expert's results was significantly higher than existing assessment tools. However some revisions were needed to improve

the accuracy of AWBA. Thus, AWBA was revised based on the results of this study and the revised AWBA which was improved has been suggested.

Application: The results of this study could be applied for evaluation of agricultural working postures and may lead to improve the accuracy of risk evaluation in agricultural field. Eventually, it could improve the work environment and reduce work-related musculoskeletal disorders.

Keywords: Ergonomic risk assessment tools, Agricultural Whole Body Assessment (AWBA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

1. Introduction

농업 분야에서는 작목의 종류나 생육과정에 따라 작업 자세, 작업량, 또는 도구 등 작업형태가 매우 다양하게 변화한다. 뿐만 아니라 작목에 따라서 쪼그려 앉는 자세, 허리 굴곡 등의 부자연스러운 자세가 매우 빈번하게 발생하며, 특정시기에 노동량이 집중되는 특징을 갖는다(Kim and Choi, 1997). 따라서 농업은 산업재해의 위험이 큰 업종 중 하나로 꼽히며, 2017년도의 산업재해 발생현황에서도 농업의 재해율은 0.73으로 전분야 평균 재해율 0.48보다 큰 수치를 나타냈다(Ministry of Employment and Labor, 2017). 또한, 농업 분야의 재해자 수는 농업인구의 고령화에 따라 지속적으로 증가하고 있는 추세로, 2016년도의 전체 업종의 재해자 수는 전년도 대비 평균 0.58%로 소폭 증가한 반면, 농업은 12.67%의 큰 폭으로 증가하였다. 이와 같이, 농업은 매우 위험한 업종 중 하나이며 노동인구의 급격한 고령화가 동반된다는 점에서 농업 종사자의 안전을 위한 연구와 대책 마련이 필요한 실정이다.

농작업 관련 질병 중 가장 많은 농업인들이 호소하는 질병은 근골격계 질환으로, 우리나라 농업인의 근골격계 통증 경험률은 80.5%로 매우 높게 나타나고 있다(Ko, 2012). 이러한 근골격계 질환은 과도한 힘의 사용, 부자연스러운 자세, 반복 등의 요인들에 의해서 발병한다(Westgaard and Aaras, 1984; Armstrong, 1986; Putz-Anderson et al., 1997; Kee, 2003; KOSHA, 2005; Kim et al., 2009). 특히, 부자연스러운 작업 자세는 어깨와 목, 허리 등 상지의 근골격계 질환 발병의 주된 원인으로(Westgaard and Aaras, 1984; Armstrong, 1986; Putz-Anderson et al., 1997; Kim et al., 2009), 이로 인한 부하를 평가하기 위하여 RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), 또는 OWAS (Ovako Working posture Analysis System) 등의 평가도구가 널리 사용되어져 왔다.

그러나, 이러한 자세 평가도구들은 제조업을 대상으로 개발된 평가도구로서, 제조업과 작업 특성이 다른 농작업의 자세를 평가하기에는 한계점이 있다. 농업은 제조업과는 달리 작업대나 작업 의자의 설치가 쉽지 않은 환경으로, 바닥에 앉거나 쪼그려 앉은 작업 자세가 매우 빈번하게 관찰된다. 그러나 OWAS, RULA, 그리고 REBA 등 기존의 자세 평가도구들은 이러한 작업 자세를 평가할 수 있는 요소를 포함하고 있지 않으며, 각 기법간의 일치도 또한 낮은 경향이 나타난다(Miedema et al., 1997; Lee et al., 2003; Moon, 2003; Kee and Park, 2005). 그 중, RULA는 하지에 대한 평가가 다소 부족하여 전신에 대한 부하를 평가하기에는 적합하지 않으며, REBA와 OWAS는 다른 평가 방법에 비해 그 부담이 과소 평가되는 것으로 나타났다(Miedema et al., 1997; Lee et al., 2003; Moon, 2003; Kee and Park, 2005).

따라서, 이러한 한계점을 극복하기 위해서 본 연구팀은 8년에 걸쳐 한국의 농작업 특성을 반영할 수 있는 상지 평가도구(Agricultural Upper Limb Assessment, AULA)와 하지 평가도구(Agricultural Lower Limb Assessment, ALLA)를 개발하였으며(Jung et al., 2010; Kong et al., 2011), 이를 통합하여 전신 평가도구(Agricultural Whole Body Assessment, AWBA)를 개발하였다. AWBA 평가도구 개발을 위해서 근전도, 심박수, 그리고 피험자의 주관적 불편도가 측정되었으며, 작업 자세와 노출 시간에 따라서 4개의 위험수준으로 분류되도록 개발하였다(1=medium, 2=moderate, 3=high, 4=very high). AULA와 ALLA는 한국 농작업 환경에서 가장 빈번하게 관찰되는 자세들을 대상으로 하며, 각각 13개와 14개의 자세로 구성되어 있다. ALLA는 Kong et al. (2018)의 연구에 의해서 정확도와 타당성이 입증된 바 있다. ALLA와 AULA 두 개의 평가도구를 통합하여 전신을 평가할 수 있는 전신 평가도구(Agricultural Whole Body Assessment, AWBA)가 개발되었다.

새로 개발된 AWBA가 널리 사용되기 위해서는 검증과정이 필수적으로 선행되어야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 1) 기존의 자세 평

가도구(OWAS, RULA, REBA)와 전문가 평가 결과와의 비교를 통해서 AWBA의 정확도를 검증하는 것과 2) 연구 결과에 근거하여 AWBA의 수정·보완점을 도출하는 것이다. 마지막으로 3) 수정 전/후 AWBA의 정확도를 비교하는 것을 연구목표로 한다.

2. Methods

본 연구의 방법론은 크게 세 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계는 평가 대상이 되는 자세를 선정하는 것으로, 고추와 콩 작목에서 80개의 작업 자세가 선정되었다. 두 번째 단계는 4개의 자세 평가도구(RULA, REBA, OWAS, AWBA)와 전문가 설문을 통해서 80개의 자세에 대한 평가를 수행하며, 마지막으로 평가 결과를 비교하기 위하여 통계적인 방법을 사용하여 기존의 평가도구들과 AWBA간의 차이점을 도출하고 전문가 평가 결과와의 일치도를 분석한다.

2.1 Posture selection

각 평가도구(RULA, REBA, OWAS)와 AWBA의 비교를 위하여 고추와 콩 작목에서 발생하는 작업 자세를 Table 1과 같이 선정하였다. 각 작목을 단위작업으로 분류한 뒤에 단위작업 별로 1개 이상의 대표작업 사진이 포함되도록 구성하였다. 따라서 총 80개(고추 48개, 콩 32개)의 작업 자세가 분석을 위해서 선정되었다. 콩과 고추작업은 쪼그려 앉은 자세부터 허리를 45° 이상 굽히는 자세까지 단위작업에 따라 다양한 작업 자세가 관찰되는 작목이다. 특히 허리를 45° 이상 굽히거나 비트는 부적절한 자세의 하루 작업시간 비중이 고추의 경우 25~50%, 콩의 경우 10~20%를 차지하기 때문에 작업 자세 위험도 평가에 적절한 작목이라고 사료되어서 선정하게 되었다 (Lee, 2012).

Table 1. Selected body postures of pepper and bean crops

Pepper	
Description of task	# of task
1. Bed soil work	2
2. Seeding	3
3. Raising seeding irrigation	3
4. Seeding transplanting	3
5. Muckspread	4
6. Rotary	3
7. Vinyl mulching	3
8. Top dressing fertilizer	3
9. Pendants installation	3
10. transplanting	4
11. Weeding	3
12. Cut off sprouts	4
13. Lining	2
14. Control	3
15. Harvest	4
16. Transportation	1
Total	48

Bean	
Description of task	# of task
1. Rotary	4
2. Vinyl mulching	3
3. Seeding	4
4. Earth up	3
5. Control	2
6. Cut off sprouts	2
7. Weeding	3
8. Harvest	3
9. Collecting harvest	4
10. Transportation	1
11. Threshing	3
Total	32

2.2 Posture evaluation

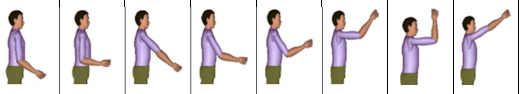
선정된 80개 자세에 대하여 4가지 평가도구(RULA, REBA, OWAS, AWBA)를 사용하여 자세 평가를 수행하였다. 인간공학 분야 전공의 석·박사급 연구원이 기존의 4가지 평가도구를 이용하여 80개의 자세를 평가하였으며, 동일한 자세에 대한 연구원간 평가 점수가 상이할 경우, 재분석을 통해 일치된 의견을 도출하였다.

전문가 평가와 비교하기 위하여 박사급 농작업 분야의 인간공학 전문가 10명에게 80개의 동일 자세에 대한 주관적 위험도 평가를 의뢰하였으며, 위험도 평가는 RULA, OWAS, AWBA와 동일하게 4점 척도로 수행되었다. 본 연구를 위해 섭외된 인간공학 전문가의 관련 분야의 평균 경력은 약 7년으로, 교수 및 연구원 등의 직종에서 종사하는 전문가를 대상으로 하였다.

AWBA를 이용하여 위험수준을 평가하기 위해서, 우선 AULA (Table 2, Left)와 ALLA (Table 2, Right)를 이용하여 상지와 하지 자세 각각에 대한 평가를 수행한다. Table 2에서, 분석하고자 하는 작업 자세와 가장 유사한 상지와 하지 자세를 선택하면, 각각의 risk level을 평가하게 된다. 평가된 자세의 risk level 점수를 Table 3에 적용하면, 최종적으로 평가 자세에 대한 전신 자세의 위험수준을 얻는다. 최종

Table 2. AULA (left) and ALLA (right)

Agricultural Upper Limb Assessment (AULA)

Posture	B0-S0-E45	B0-S0-E90	B0-S45-E0	B0-S45-E45	B0-S45-E90	B0-S90-E45	B0-S90-E90	B0-S125-E0
								
Risk level	1	1	2	2	2	3	3	4

Posture	B45-S45-E0	B45-S45-E45	B45-S90-E0	B45-S90-E45	B90-S90-E0	B90-S90-E45
Risk level	2	3	3	3	2	2

Agricultural Lower Limb Assessment (ALLA)

Posture	Standing				Sitting			
	STD	KF 150	KF 120	KF90	SC 40	SC 20	SC 0	SF_CRS
Risk level	2	3	4	4	1	1	2	1

Posture	Squatting			Kneeling	
	KF60	KF30	KF30C	KNL_1	KNL_2
Risk level	4	3	3	3	3

Table 3. AWBA table

Agricultural Whole Body Assessment (AWBA)					
		AULA			
		4	3	2	1
ALLA	4	4	4	4	3
	3	4	3	3	3
	2	4	3	2	2
	1	3	3	2	1

위험수준의 점수는 4가지 위험수준으로 분류된다(1=medium, 2=moderate, 3=high, 4=very high).

2.3 Statistical analysis

전문가 평가와 각 평가도구간의 비교를 위하여 확률 일치도(percent of agreement)와 Kappa analysis를 사용하였다. 본 연구에서 확률 일치도란 전문가 결과와 각 평가도구 결과가 서로 일치한 횟수를 백분율로 나타낸 것을 의미한다. Kappa analysis의 경우, 본 연구 대상인 자세 평가는 순위척도이기 때문에 가중 Kappa (Quadratic Weighted kappa)를 사용하여 분석을 수행하였으며, Kappa 통계량은 Blackman and Koval (2000)의 분류방식에 따라 Kappa 계수를 기준으로 $0<k\leq0.2$: 일치도 약간 있음(slight); $0.2<k\leq0.4$: 일치도 보통(fair); $0.4<k\leq0.6$: 일치도 좋음(moderate); $0.6<k\leq1$: 일치도 아주 좋음(Substantial to almost perfect)으로 해석하였다. 체크리스트간의 유의미한 차이를 분석하기 위하여 One-way ANOVA 분석을 수행하였으며, 사후분석으로 Tukey-test를 수행하였다. 모든 통계분석은 SPSS ver. 18.0을 사용하였으며, 유의수준 $\alpha=0.05$로 분석하였다.

3. Results

3.1 Percentage of agreement and Cohen's kappa analysis

전문가 평가 결과와 평가도구간의 확률 일치도(percent of agreement)는 평가도구의 종류에 따라서 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.001$). 전문가 평가와 AWBA의 일치도가 44.4%로 가장 높았으며, 두 번째로 높은 일치도는 REBA (37.6%)에서 관찰되었다. 가장 낮은 일치도는 RULA (28.3%)와 OWAS (28.6%)에서 발견되었다(Table 4 & 5). Kappa 계수의 경우, AWBA와 REBA는 각각 0.44와 0.47로 좋은(Moderate) 일치도에 해당하는 것으로 나타났으며, OWAS (0.32)는 보통(Fair)에 해당하는 일치도를 보였다. RULA의 일치도 수준은 0.04로 약간(Slight)에 해당하는 것으로 나타났다.

Table 4. Percent of agreement and Kappa value according to checklist types

Checklist	Percent of agreement (%)	Kappa value	Strength of agreement
AWBA	44.4%^{A}	0.44	Moderate
REBA	37.6%^{B}	0.47	Moderate
RULA	28.3%^{C}	0.04	Slight
OWAS	28.6%^{C}	0.32	Fair

[Note: Different alphabets indicate significant difference between means using Tukey's test at p-value 0.05]

Table 5. Cohen's kappa analysis between expert and checklists

			AWBA				REBA				RULA				OWAS			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Expert	1	111	8	99	4	0	59	47	5	0	9	49	51	2	105	6	0	0
	2	184	5	149	30	0	62	97	25	0	7	77	92	8	128	54	2	0
	3	255	7	89	139	20	20	109	122	4	2	129	117	7	72	127	56	0
	4	202	8	46	107	38	9	47	141	5	0	101	91	10	32	105	65	0
	계	752	28	386	280	58	150	300	293	9	18	356	351	27	337	292	123	0

3.2 Frequency analysis of grade gap according to the checklists

각 평가도구들의 평가 경향을 살펴보기 위하여 점수 차이(전문가 점수-평가도구 점수)에 대한 빈도분석을 수행하였다(Figure 1). 그래프의 x축은 전문가와 평가도구간의 점수 차이를 의미하며, y축은 빈도를 의미한다. 따라서 전문가와 평가도구간의 점수가 동일한 경우 0에 해당하는 값을 갖게 되며, 양수인 경우에는 전문가의 평가 점수가 평가도구보다 높음을 의미하는 반면, 음수인 경우는 전문가의 평가 점수가 평가도구보다 낮음을 의미한다. AWBA의 경우, 전체 평가 중 약 44%는 전문가 집단과 동일한 점수로 평가하였으며, 약 35%는 전문가보다 낮은 점수로 약 21%는 전문가보다 높은 점수로 평가하였다. REBA의 경우, 약 38%는 전문가 집단과 동일하게 평가하였으나, 51%는 전문가보다 낮은 점수로, 11% 전문가보다 높은 점수로 평가하였다. RULA의 경우, 전문가와 일치한 경우는 약 28%에 불과하였으며, 약 44%는 전문가 집단보다 낮은 점수로 평가하였으며, 약 28%는 전문가 집단보다 높게 평가하였다. OWAS의 경우, 약 29%는 전문가 집단과 동일한 점수로 평가하였으나, 약 71%는 전문가 집단보다 낮은 점수로 평가하였고 약 1%는 전문가 집단보다 높게 평가하였다.

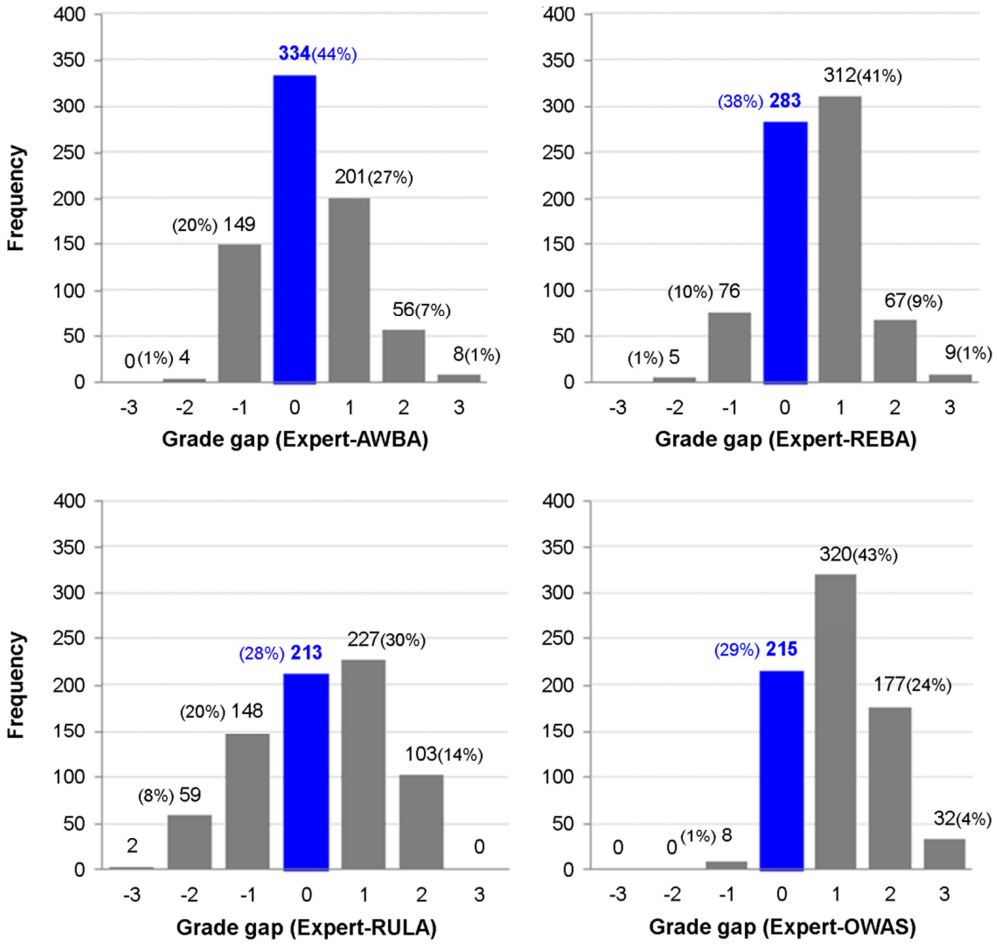


Figure 1. Frequency analysis of grade gap according to checklist types

3.3 Evaluation of AWBA

전문가 집단의 경우 평가 결과가 4개의 위험수준에 대하여 비교적 고르게 분포하지만, AWBA의 경우 약 88%(666건)의 결과가 2단계

와 3단계에 편중되는 경향을 보였다(Table 6).

AWBA의 평가경향 분석과 개선점 도출을 위해서 각 위험수준 별로 AWBA와 전문가 평가간의 차이를 분석하였다(Table 7). 전문가 집단이 위험수준 1이라고 평가한 경우는 총 111건였으며, 그 중 7%(8건)만이 AWBA의 결과와 일치하였고, AWBA는 약 89%(99건)에 대하여 위험수준 2로, 4%(4건)는 위험수준 3으로 과대 평가하였다.

전문가 집단이 위험수준 2라고 평가한 경우, AWBA의 일치율은 81%로 가장 높았으며, 약 16%(30건)에 대해서는 위험수준 3이라고 한 단계 과대 평가하였다. 또한, 전문가 집단이 위험수준 3이라고 평가한 경우(255건), AWBA와 일치하는 경우는 55%(139건)이였으며, 35%(89건)는 위험수준 2라고 한 단계 과소 평가하였다. 전문가 집단이 위험수준 4라고 평가한 경우, AWBA와의 일치율은 19%(38건)에 불과하였으며, 53%(107건)에 대해서는 위험수준 3, 24%(49건)에 대해서는 위험수준 2, 그리고 4%(8건)에 대해서는 위험수준 1로 과소 평가하는 경향이 나타났다.

Table 6. Frequency according to the level

	AWBA	Expert
Level 1	28 (4%)	111 (15%)
Level 2	386 (51%)	184 (24%)
Level 3	280 (37%)	255 (34%)
Level 4	58 (8%)	202 (27%)
	752 (100%)	752 (100%)

Table 7. Kappa table between AWBA and expert

		AWBA				
		1	2	3	4	계
Expert	1	8 (7%)	99 (89%)	4 (4%)	0	111
	2	5 (3%)	149 (81%)	30 (16%)	0	184
	3	7 (3%)	89 (35%)	139 (55%)	20 (8%)	255
	4	8 (4%)	49 (24%)	107 (53%)	38 (19%)	202
	계	28	386	280	58	752

3.4 Suggestion of improvements

AWBA는 전문가가 위험수준 1단계로 평가한 사례들 중 89%를 2단계라고 과대 평가하는 경향을 보였다. 전문가 집단이 위험수준 1단계로 평가한 자세들은 대부분 똑바로 선 상태에서 상지의 움직임의 크지 않은 자세들이었다(Figure 2). 반면, AWBA 평가도구에서는 똑바로 선 하지 자세는 위험수준 2단계로 평가되기 때문에 전문가 집단의 평가와 차이가 있는 것으로 판단된다. 이러한 평가의 불일치는 AWBA의 Standing (STD) 자세 점수의 하향 조절을 통해서 해결될 수 있다고 사료된다.

전문가가 4단계라고 평가한 사례의 경우, 19%의 결과만이 AWBA와 일치했으며 53%의 경우 위험수준 3, 24%의 경우 위험수준 2로 AWBA의 과소 평가 경향이 발견되었다. 전문가가 4단계로 평가한 자세는 크게 쪼그려 앉은 자세와 허리를 90° 이상 굽힌 자세로 분류할 수 있었다(Figure 3). 반면, AWBA에서는 허리를 90° 이상 굽힌 자세를 위험수준 2로 평가하기 때문에 과소 평가하는 경향이 나타

났으며, 허리 굴곡 자세에 대한 과소 평가 경향은 기존 위험수준 2점으로 평가되던 자세를 4점으로 상향 조절하면 해결될 수 있다. 뿐만 아니라 전문가의 경우 쪼그려 앉은 자세는 무릎의 각도와 상관없이 4점의 위험수준을 부과하는 경향이 있으나, AWBA에서는 무릎의 각도에 따라서 3점과 4점으로 상세하기 분류되기 때문에 과소 평가하는 경향이 나타난 것으로 사료된다.

Figure 2. Postures that experts evaluated as 'risk level 1'

Figure 3. Postures that experts evaluated as 'risk level 4'

3.5 Result of revision

3.4절의 제안에 따라서 기존의 AWBA 평가도구를 다음과 같이 수정하였다(Appendix 참조). 하지 평가도구(ALLA)의 경우, Stand (STD) 자세를 기존 2점에서 1점으로 하향 조정하였으며, 상지 평가도구(AULA)에서는 두 개의 허리 90° 굴곡 자세(B90-S90-E0, B90-S90-E45)에 대하여 기존 2점에서 4점으로 상향 조정하였다. 수정 전/후 비교를 위하여 수정한 AWBA를 이용하여 80개 자세에 대한 평가를 다시 수행하였다.

Table 8. Kappa value of existing AWBA and revised AWBA

			Existing AWBA				Revised AWBA			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Expert	1	111	8 (7%)	99 (89%)	4 (4%)	0	68 (61%)	38 (34%)	5 (5%)	0
	2	184	5 (3%)	149 (81%)	30 (16%)	0	53 (29%)	85 (46%)	44 (24%)	2 (1%)
	3	255	7 (3%)	89 (35%)	139 (55%)	20 (8%)	18 (7%)	41 (16%)	158 (62%)	38 (15%)
	4	202	8 (4%)	49 (24%)	107 (53%)	38 (19%)	11 (5%)	5 (2%)	128 (63%)	58 (29%)
	계	752	28	386	280	58	150	169	335	98

수정 전 AWBA와 수정 후 AWBA의 정확도를 비교하기 위하여, 전문가 평가와의 일치도를 Kappa 분석을 통해서 도출하였으며, 분석 방법은 2.4절과 동일하였다. 수정 전 AWBA와 전문가 평가간의 Kappa 계수는 0.44로 좋은(Moderate) 일치도에 해당하는 반면, 수정 후 AWBA의 Kappa 계수는 0.62로 아주 좋음(Substantial to almost perfect)에 해당하는 것으로 나타났다(Table 8).

4. Discussion and Conclusion

4.1 Existing AWBA

본 연구는 농작업 자세를 평가하기 위해서 개발된 AWBA의 타당성을 검증하고 개선사항을 도출하기 위해서 수행되었다. 타당성 검증은 전문가의 평가 결과를 기반으로 수행되었다. AWBA를 포함한 기존의 평가도구들(REBA, OWAS, RULA)과 전문가 평가의 일치도를 비교하기 위하여 확률 일치도(Percent agreement)와 가중 카파분석(Weighted kappa analysis)을 사용하였다. 확률 일치도의 경우, AWBA가 44%로 전문가 집단과의 일치도가 가장 높게 나타났으며, REBA (38%)에서 두 번째로 높은 일치도가 관찰되었다. 가중 카파분석의 경우, AWBA와 REBA는 좋은(Moderate) 일치도로 평가되었으며, OWAS와 RULA는 각각 보통(Fair)과 약간(Slight)의 일치도를 보였다. 확률 일치도와 카파분석을 종합해 보았을 때, 본 연구팀이 개발한 AWBA가 전문가 집단의 평가 결과와 가장 유사함을 알 수 있었다. 기존의 평가도구들은 쪼그려 앉은 자세와 까치발 자세 등 농업에서 빈번하게 관찰되는 자세를 평가할 수 있는 요소가 없기 때문에 AWBA의 결과가 좋게 나타난 것이라고 사료된다. 비록, AWBA의 전반적인 일치도가 다른 평가도구보다 높게 나왔지만, 평가의 정확도를 향상시키기 위해서는 몇 가지 개선이 판단되었기에 본 연구팀은 AWBA의 개선을 위하여 AWBA의 평가 결과를 심도있게 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 개선점을 도출하였다.

AWBA와 전문가 집단 평가 결과의 차이가 가장 크게 나타났던 자세는 Standing이었다. 대부분의 전문가들은 Standing 상태에서 상지의 움직임이 크지 않은 자세에 대하여, 위험수준 1이라고 평가한 반면, 본 연구의 하지 평가에서는 의자에 앉는 자세(40cm, 20cm)와 Cross-leg sit과 같은 다양한 자세를 함께 고려하기 때문에 Standing 자세는 의자에 앉는 자세에 비하여 위험수준 2로 한 단계 높게 평가되었다. 이러한 이유로 전문가가 위험수준 1이라고 평가한 사례들의 상당수가 AWBA에서는 위험수준 2로 평가되었기 때문에 위험수준 1에 대한 일치율이 7%로 현저하게 낮게 도출되었다. 이러한 불일치는 기존에 2점으로 평가되던 AWBA의 Standing 자세 점수를 1점으로 하향 조절하여 해결될 수 있으리라 사료되었다.

전문가와 AWBA의 평가 결과 간에 큰 차이를 보였던 또 다른 자세는 허리를 90°로 굴곡시키는 자세였다. AWBA는 허리 90° 굴곡 자세를 위험수준 2로 평가하는 반면, 전문가 집단은 동일한 자세에 대하여 위험수준 3 또는 4로 높게 평가하는 경향을 보였다. 기존의 자세 평가도구들도 허리 90° 굴곡 자세에 대하여 큰 위험도 점수를 부과한다. 그러나 AWBA 개발과정에서 수행된 실험에 따르면(Kong et al., 2011), 척추 세움근의 근활성도는 허리 각도 90°일 때 가장 낮으며, 주관적 불편도 역시 비교적 낮은 수치를 보였다. 이 실험 결과를 기반으로, AWBA는 허리 90° 굴곡 자세를 위험도 2점으로 비교적 낮게 평가하도록 설계되었다. 본 연구팀 외에도 많은 연구자들이 허리를 전방으로 최대로 굴곡했을 때 등 근육의 근활성도가 감소하는 Flexion-relaxation 현상을 증명하였으며(McGill and Kippers, 1994; Shirado et al., 1995; Sakamoto and Swie, 2003), 이러한 Flexion-relaxation에 의해서 근육의 활성도는 최대 근활성도의 1% 미만까지 감소한다(Allen, 1948; Floyd and Silver, 1951; Dickey et al., 2003). 그러나 감소된 허리 근육의 부담이 다른 근육으로 전이되는 가의 여부는 연구자들간 의견이 상이하다. McGill and Kippers (1994)는 등 근육의 근활성도의 감소가 복부나 흉부 근육의 부담으로 전이되지 않는다고 한 반면, Floyd and Silver (1955)는 허리의 부하가 추간 인대로 전이된다고 하였다. Sakamoto and Swie (2003)은 허리 최대 굴곡 시, 다리 근육의 활성도 증가가 발견되었다고 발표하였다. 뿐만 아니라 Andersson et al. (1996)은 허리 굴곡 시 표면 척추 기립근은 굴곡 초기에 크게 활성화되다가 점점 감소하면서 최대 굴곡 지점에서 비활성화가 관찰되는 반면, 깊은 척추 기립근과 요방형근의 경우, 최대 굴곡까지 증가하는 패턴을 보였다고 발표하였다. 따라서 표면 척추 기립근의 근전도가 감소한다고 해서 척추에 가해지는 부담이 감소한다는 AWBA의 평가 체계는 수정이 필요하다고 할 수 있다. 깊은 척추 기립근이나 혹은 다른 근육으로의 전이 현상이 발생한다면 척추의 부담이 감소한다고 판단할 수 없기 때문이다. 본 연구팀의 상지 평가도구는 근전도와 심박수, 주관적 불편도만을 고려했기 때문에, 허리 90° 굴곡 자세에서 낮은 평가 점수가 도출되었다. 그러나 근전도가 심부 근육의 근활성도를 완전히 포착하지 못한다는 점과 신체의 다른 부위로 척추의 부담이 전가될 가능성에 대해서는 고려하지 못했기 때문에 전문가의 평가와의 불일치가 발생하는 것으로 사료된다. 이러한 한계점은 허리 90° 굴곡 자세 점수에 대한 상향 조절을 통해서 해결할 수 있는 문제라고 사료된다.

쪼그려 앉는 자세 역시도 전문가와 AWBA의 평가 결과에서 차이가 발견되었다. AWBA에서는 쪼그려 앉은 자세를 무릎 각도와 발바닥과 지면의 접촉면적에 따라 KF60(무릎 각도 60°), KF30(무릎 각도 30°), KF30C(무릎 각도 30°, 까치발)의 세 수준으로 분류하였으며 KF30, KF30C는 위험수준 3, KF60은 위험수준 4로 구분하여 평가하고 있다. 반면, 전문가 집단은 무릎 각도에 상관없이 쪼그려 앉는 자세에 대해서는 일괄적으로 4점의 위험수준을 부과하는 경향을 보였다. 무릎각도 60°와 30°는 육안으로 봤을 때 큰 차이가 없이 보이기 때문에 KF30, KF30C 자세에 대해서 전문가 집단의 과대 평가가 이루어지는 것이라고 볼 수 있다. 그러나 본 평가도구의 개발과정에서 수행된 실험에 따르면, 무릎 각도 30°와 60°의 위험도는 서로 상이하다. 이 실험에서는 무릎 각도에 따른 주관적 불편도와 근전도 신호가 측정되었으며, 두 요소를 모두 고려했을 때 무릎 각도 30°가 60°보다 상대적으로 낮은 위험도를 갖는다는 결론이 도출되었다. 무릎 각도 40°에서부터 허벅지와 종아리가 접촉되기 시작하면서(Nagura et al., 2002), 종아리가 일종의 지지대 역할을 하기 때문에 부하가 분산되며 피험자의 주관적 불편도가 감소한 것으로 사료된다. 전문가 집단과 본 평가도구의 불일치는 무릎 각도에 대한 세부적인 평가 체계가 반영된 새로운 자세 평가도구가 도입되어 널리 배포된다면 자연스럽게 해소될 수 있는 사항이라고 생각된다. 기존의 평가도구들(OWAS, REBA, RULA) 역시도 무릎 각도에 대해서 AWBA와 같은 세부적인 분류를 하고 있지 않기 때문에 쪼그려 앉은 자세에 대한 평가 체계는 AWBA가 적절하다고 사료된다. 따라서 쪼그려 앉은 자세 대한 AWBA의 평가는 근전도, 주관적 평가와 심박수를 통한 정량적 분석을 토대로 개발된 것이며, AWBA의 평가 결과를 지지할 수 있는 선행 연구들이 많이 존재하기 때문에 수정이 필요한 부분은 아니라고 사료된다.

4.2 Revised AWBA

결과적으로 AWBA의 정확도 향상을 위해서 개선되어야 하는 부분은 Standing (STD) 자세와 허리 90° 굴곡(B90-S90-E0, B90-S90-E45) 자세이다. 따라서 기존에 2점으로 평가되던 Standing 자세를 1점으로 하향 조정하였으며, 기존 2점으로 평가되던 허리 90° 굴곡 자세는 4점으로 상향 조정하였다. 이후, 수정 전/후 AWBA의 정확도 비교를 위해서 Kappa Analysis가 수행되었다. 수정 전 AWBA의 경우, Kappa 계수가 0.44로 좋음(Moderate)에 해당하는 반면, 수정된 AWBA의 경우 0.62로 '아주 좋음'에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 수정된 AWBA의 성능이 우수하게 향상되었다는 것을 의미한다.

비록 전문가 평가만을 정답으로 가정했다는 점은 한계점이 될 수 있으나, 전문가 집단의 의견이 모아지면 결국 정답으로 수렴할 것이라는 가정은 많은 검증 연구에서 빈번하게 이루어지는 바이기 때문에 정답으로서의 가치가 있다고 사료된다. 다만, 본 연구의 또 다른 한계점은 전문가의 수가 10명으로 부족하다는 점과 중간 높이의 작목(고추, 콩) 두 개만을 대상으로 했다는 점이다. 따라서 추후에 전문가의 수를 확대하고, 높이가 다양한 작목을 대상으로 한 추가적인 검증작업을 수행할 필요가 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 3-D SSPP (3-D Static Strength Prediction Program) 또는 NLE (NIOSH Lifting Equation)와 같은 정량적인 평가와의 비교분석을 추가 고려한다면, 농작업 분석을 위한 완성도 있는 평가도구를 완성할 수 있을 것이라고 사료된다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ012509032018)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Allen, C.E., Muscle action potentials used in the study of dynamic anatomy, *The British Journal of Physical Medicine: including its application to industry*, 11(3), 66-73, 1948.

Andersson, E.A., Oddsson, L.I.E., Grundström, H., Nilsson, J. and Thorstensson, A., EMG activities of the quadratus lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks, *Clinical Biomechanics*, 11(7), 392-400, 1996.

Armstrong, T.J., Upper-extremity posture: definition, measurement and control, *The Ergonomics of Working Postures*, 59-73, 1986.

Blackman, N.J.M. and Koval, J.J., Interval estimation for Cohen's kappa as a measure of agreement. *Statistics in Medicine*, 19(5), 723-741, 2000.

Dickey, J.P., McNorton, S. and Potvin, J.R., Repeated spinal flexion modulates the flexion-relaxation phenomenon. *Clinical Biomechanics*, 18(9), 783-789, 2003.

Floyd, W.F. and Silver, P.H.S., Function of erectores spinae in flexion of the trunk. *The Lancet*, 257(6647), 133-134, 1951.

Floyd, W.F. and Silver, P.H.S., The function of the erectores spinae muscles in certain movements and postures in man. *The Journal of Physiology*, 129(1), 184-203, 1955.

Jung, M.C., Park, D., Lee, S.J., Lee, K.S., Kim, D.M. and Kong, Y.K., The effects of knee angles on subjective discomfort ratings, heart rates, and muscle fatigue of lower extremities in static-sustaining tasks. *Applied Ergonomics*, 42(1), 184-192, 2010.

Kee, D.H., Investigation on status of musculoskeletal disorders for industrial safety managers, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 22(4), 79-90, 2003.

Kee, D.H. and Park, K.H., Comparison of posture classification schemes of OWAS, RULA and REBA, *Journal of the Korean Society of Safety*, 20(2), 127-132, 2005.

Kim, H.H., Park, H.J., Park, K.H., Kim, W., Yoo, C.Y., Kim, J.H. and Park, J.S., An Analysis of characteristics of musculoskeletal disorders risk factors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 28(3), 17-25, 2009.

Kim, M.J. and Choi, J.H., A study for farmers to reduce work load on the different working conditions (Ⅱ) - Cultivating welsh onion in the summer ground, *The Korean Journal of Community Living Science*, 8(2), 119-124, 1997.

Ko, S.B., Work-related diseases and injury of Korean farmer: Cause, epidemiology, and countermeasure, *Journal of the Korean Medical Association*, 55(11), 1044-1045, 2012.

Kong, Y.K., Lee, S.J., Lee, K.S. and Seo, M.T., The effects of coordinated upper-limb postures of back, shoulder, and elbow flexion angles on the subjective discomfort rating, heart rate, and muscle activities, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(6), 695-703, 2011.

Kong, Y.K., Lee, S.Y., Lee, K.S. and Kim, D.M. Comparisons of ergonomic evaluation tools (ALLA, RULA, REBA and OWAS) for farm work, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24(2), 218-223, 2018.

KOSHA (Korea Occupational Safety & Health Agency), *Industrial Accident Statistics*, 2005.

Lee, C.G., Work-related musculoskeletal disorders in Korean farmers, *Journal of the Korean Medical Association*, 5(11), 1054-1062, 2012.

Lee, I., Jeong, M.K. and Choe, G.I., Comparison of observational posture evaluation methods based on perceived discomfort, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 22(1), 43-56, 2003.

McGill, S.M. and Kippers, V., Transfer of loads between lumbar tissues during the flexion-relaxation phenomenon, *Spine*, 19(19),

2190-2196, 1994.

Miedema, M.C., Douwes, M. and Dul, J., Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(1), 9-18, 1997.

Ministry of Employment and Labor, *2017 Status of Industrial Accidents*, 2017.

Moon, C., Comparison of observational posture evaluation methods using maximum holding times of symmetric and asymmetric working postures, Pohang University, Pohang, Korea, 2003.

Nagura, T., Dyrby, C.O., Alexander, E.J. and Andriacchi, T.P., Mechanical loads at the knee joint during deep flexion, *Journal of Orthopaedic Research*, 20(4), 881-886, 2002.

Putz-Anderson, V., Bernard, B.P., Burt, S.E., Cole, L.L., Fairfield-Estill, C., Fine, L.J. and Nelson, N., Musculoskeletal disorders and workplace factors, *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*, 104, 1997.

Sakamoto, K. and Swie, Y.W., EMG characteristics of low back and lower limb muscles during forward bending posture, *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 43(6), 335-347, 2003.

Shirado, O., Ito, T., Kaneda, K. and Strax, T.E., Flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. A comparative study between healthy subjects and patients with chronic low back pain, *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 74(2), 139-144, 1995.

Westgaard, R.H. and Aaras, A., Postural muscle strain as a causal factor in the development of musculo-skeletal illnesses, *Applied Ergonomics*, 15(3), 162-174, 1984.

Author listings

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Kyung Suk Lee: leeks81@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational Safety and Health Management, Occupational Disease

Ju-Hee Lee: heyj_hee@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health

Kyeong-Hee Choi: kyunghe7@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan Universiy
Position title: Ph.D., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Prosthesis

Appendix

1. Revised Agricultural Upper-Limb Assessment (AULA)

Posture: _____ & Duration: _____

1. Evaluation of posture → Risk level of posture
2. Evaluation of posture duration → Risk level of posture duration

<Risk level of posture>

Posture	B0-S0-E45	B0-S0-E90	B0-S45-E0	B0-S45-E45	B0-S45-E90	B0-S90-E45	B0-S90-E90	B0-S125-E0
Risk level	1	1	2	2	2	3	3	4

Posture	B45-S45-E0	B45-S45-E45	B45-S90-E0	B45-S90-E45
Risk level	2	3	3	3

Posture	B90-S90-E0	B90-S90-E45
Risk level	4	4

*B: Back angle, S: Shoulder angle, E: Elbow angle

Level	1	2	3	4
Risk level	Medium	Little high	High	Very high

<Risk level of posture duration - AULA>

	B0-S0 -E45	B0-S0 -E90	B0-S45 -E0	B0-S45 -E45	B0-S45 -E90	B0-S90 -E45	B0-S90 -E90	B0-S125 -E0	B45-S45 -E0	B45-S45 -E45	B45-S90 -E0	B45-S90 -E45	B90-S90 -E0	B90-S90 -E45
1	<3 min	<2 min	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
2	<8 min	<7 min	<2 min	<2 min	<1 min				<1 min				<1 min	<1 min
3	<17 min	<14 min	<9 min	<8 min	<5 min	<2 min	<2 min		<2 min	<5 min	<2 min	<4 min	<6 min	<5 min
4	More than 17min	More than 14min	More than 9min	More than 8min	More than 5min	More than 2min	More than 2min	More than 1min	More than 2min	More than 5min	More than 2min	More than 4min	More than 6min	More than 5min

Level	1	2	3	4
Risk level	Medium	Little high	High	Very high

2. Revised Agricultural Lower-Limb Assessment (ALLA)

Posture: _____ & Duration: _____

1. Evaluation of posture → Risk level of posture
2. Evaluation of posture duration → Risk level of posture duration

<Risk level of posture-ALLA>

	Standing				Sitting			
Posture	Stand (STD)	Knee Angle 150 (KF150)	Knee Angle 120 (KF120)	Knee Angle 90 (KF90)	Sit chair 40cm (SC40)	Sit chair 20cm (SC20)	Sit chair 0cm (SC0)	Cross-leg Sit (SF_CRS)
Risk level	**1**	**3**	**4**	**4**	**1**	**1**	**2**	**1**

	Squatting		
Posture	Knee Angle 60 (KF60)	Knee Angle 30 (KF30)	Knee Angle 30 + Crow's feet (KF30C)
Risk level	**4**	**3**	**3**

	Kneeling	
Posture	One leg Kneeling (KNL_1)	One leg Kneeling (KNL_2)
Risk level	**3**	**3**

Level	1	2	3	4
Risk level	Medium	Little high	High	Very high

<Risk level of posture duration - ALLA>

	Stand (STD)	Knee Angle 150 (KF150)	Knee Angle 120 (KF120)	Knee Angle 90 (KF90)	Knee Angle 60 (KF60)	Knee Angle 30 (KF30)	Knee Angle 30 + Crow's feet (KF30C)	One leg Kneeling (KNL_1)	One leg Kneeling (KNL_2)	Cross-leg Sit (SF_CRS)	Sit chair 0cm (SC0)	Sit chair 20cm (SC20)	Sit chair 40cm (SC40)
1	<2 min	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	<2 min	<1 min	<2 min	<2 min
2	<11 min	<8 min	n/a	n/a	n/a	<2 min	<2 min	<2 min	<2 min	<11 min	<2 min	<13 min	<18 min
3	<33 min	<12 min	n/a	n/a	n/a	<9 min	<3 min	<4 min	<5 min	<35 min	<18 min	<38 min	<57 min
4	More than 33min	More than 12min	More than 1min	More than 1min	More than 1min	More than 9min	More than 3min	More than 4min	More than 5min	More than 35min	More than 18min	More than 38min	More than 57min

Level	1	2	3	4
Risk level	Medium	Little high	High	Very high

3. Agricultural Whole-Body Assessment (AWBA)

Upper-Body Risk level: _____

Lower-Body Risk level: _____

1. Evaluation of Upper body posture and posture duration → AULA
2. Evaluation of Lower body posture and posture duration → AUBA

		Agricultural Upper-Limb Assessment (AULA)			
		4	3	2	1
Agricultural Lower-Limb Assessment (ALLA)	4	4	4	4	3
	3	4	3	3	3
	2	4	3	2	2
	1	3	3	2	1

Level	1	2	3	4
Risk level	Medium	Little high	High	Very high