

Évaluation du nouveau dispositif d'analyse de la posture et de reconstruction virtuelle (PAViR) pour l'évaluation des paramètres de la posture sagittale : une étude observationnelle prospective

Chan Woong Jang, Jihyun Park, Han Eol Cho and Jung Hyun Park

1 Department of Rehabilitation Medicine, Gangnam Severance Hospital, Rehabilitation Institute of Neuromuscular Disease, Yonsei University College of Medicine, Seoul 06229, Korea

2 Department of Rehabilitation Medicine, Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine, Hwaseong 18450, Korea

3 Department of Medical Device Engineering and Management, Yonsei University College of Medicine, Seoul 06229, Korea

* Correspondence: rmpjh@yuhs.ac; Tel.: +82-2-2019-3490

Résumé :

L'objectif de cette étude était de rapporter la validation clinique du système d'analyse posturale et de reconstruction virtuelle (PAViR), en mettant l'accent sur l'exactitude des paramètres sagittaux de la colonne vertébrale, comparée au système d'imagerie EOS. Soixante-dix patients diagnostiqués avec un dysfonctionnement segmentaire et somatique ont été recrutés entre février 2020 et novembre 2020. Chaque patient a été examiné à l'aide du système d'imagerie EOS et du PAViR ; les paramètres sagittaux de la posture du corps humain [posture de la tête en avant (FHP), angle d'inclinaison de T1 (T1t), angle de flexion du genou (KF), angle de lordose lombaire (LL) et angle d'inclinaison pelvienne (PT)] ont été analysés afin de vérifier la corrélation entre les résultats des deux dispositifs.

Les différences médianes entre les résultats des deux dispositifs ont montré des écarts significatifs pour la FHP (T4-tête frontale et T4-conduit auditif), T1t et PT. Dans l'analyse de corrélation, les valeurs de la FHP (C7-conduit auditif, T4-tête frontale et T4-conduit auditif), T1t et PT ont montré une corrélation modérée entre les deux dispositifs ($r = 0.741, 0.795, 0.761, 0.621$ et 0.692 , respectivement) ($p < 0.001$). Les valeurs de KF et LL étaient

faiblement corrélées ($r = 0.514$ et 0.536 , respectivement) ($p = 0.004$ pour les deux).

Cette étude met en évidence le potentiel d'un nouveau système d'imagerie squelettique sans exposition aux radiations, basé sur une caméra 3D red-green-blue-depth (PAViR), en tant qu'outil de diagnostic de nouvelle génération. Ce système pourrait améliorer l'estimation des paramètres grâce à des mises à jour continues basées sur des données multiples et l'intégration de la technologie de l'intelligence artificielle.

1. Introduction

Posture, définie comme l'alignement ou l'orientation du corps en position verticale, est liée à la capacité d'effectuer des mouvements efficaces et économes en énergie, tout en protégeant la structure corporelle des blessures ou des déformations progressives [1,2]. Les anomalies musculo-squelettiques sont la principale cause des modifications posturales. En particulier, une posture anormale de la colonne vertébrale sagittale traduit un déséquilibre du tronc et du bassin [3,4]. Une évaluation précise et fiable de la posture est essentielle pour aider le clinicien dans la planification et la prise de décision concernant la prise en charge des douleurs musculo-squelettiques.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la posture basées sur des mesures radiographiques et non radiographiques [5–8]. Actuellement, la radiographie est la référence pour évaluer la posture ; une méthode radiographique de haute précision est le système d'imagerie EOS (Biospace Med, Paris, France), un dispositif de diagnostic médical permettant une radiographie du corps entier avec une faible dose de radiation. Le système EOS génère des images de haute qualité grâce à des mises à jour et des avancées technologiques qui améliorent la pertinence diagnostique des anomalies et des déformations de la colonne vertébrale, du bassin et des membres inférieurs selon divers critères [9–11].

Cependant, cette méthode présente certains inconvénients. Tout d'abord, elle est difficilement accessible en pratique clinique courante en raison des

coûts élevés de maintenance et de personnel. Ensuite, les radiographies obtenues par rayons X, y compris avec le système EOS, restent une technique invasive et potentiellement dangereuse. Une étude précédente a montré qu'en comparaison avec la radiographie conventionnelle, la dose totale de radiation utilisée par le système EOS était réduite d'environ 50 % [12]. Cela a conduit à un intérêt croissant pour des méthodes alternatives, peu coûteuses et non invasives, permettant de mesurer la posture sans risque lié aux radiations [13].

Les progrès en matière de capteurs, d'unités de traitement et d'algorithmes d'apprentissage automatique ont conduit à l'émergence de technologies basées sur des capteurs en temps réel pour détecter la posture humaine, telles que les caméras de profondeur tridimensionnelles (3D). Ainsi, un nouvel appareil d'analyse posturale et de reconstruction virtuelle, le PAViR, utilisant une caméra 3D en temps réel de type red-green-blue-depth (RGB-D), a été développé. Grâce à PAViR, la posture humaine peut être évaluée plus rapidement et sans exposition aux radiations. Cependant, les informations sur sa pertinence diagnostique, en particulier concernant les paramètres sagittaux, restent limitées. Par conséquent, l'objectif de cette étude est de déterminer si PAViR est un outil d'imagerie diagnostique fiable en comparaison avec les paramètres sagittaux mesurés par le système d'imagerie EOS.

2. Matériels et méthodes

2.1. Participants

Les patients diagnostiqués avec un dysfonctionnement segmentaire et somatique (M99.0) selon la Classification internationale des maladies, dixième révision, et des pathologies vertébrales confirmées au département de médecine de réadaptation d'un hôpital tertiaire ont été recrutés de février 2020 à novembre 2020. Les dysfonctionnements segmentaires et somatiques sont aggravés par une mauvaise posture ou entraînent une posture anormale qui conduit à une mécanique dysfonctionnelle. Le dysfonctionnement est le résultat d'une interaction

complexe de toute une chaîne de structures liées. Ainsi, il serait plus utile de comprendre l'état d'un patient si le corps entier était imagé plutôt qu'une partie du corps. Par conséquent, les sujets présentant un dysfonctionnement segmentaire et somatique sont aptes à évaluer la corrélation entre les résultats du système d'imagerie EOS et PAViR.

Les critères d'exclusion étaient les suivants : (1) les personnes ayant reçu un diagnostic d'autres pathologies neurologiques ou orthopédiques, (2) les personnes âgées de moins de 19 ans, (3) les personnes ayant un indice de masse corporelle (IMC) $\geq 35 \text{ kg/m}^2$ ou plus, (4) les personnes ayant subi l'insertion d'un dispositif de fixation métallique après une chirurgie de la colonne vertébrale et (5) les personnes susceptibles d'être enceintes ou qui l'étaient. Sur la base des résultats d'une étude comparative, un échantillon de 40 participants a été sélectionné pour fournir une puissance statistique allant jusqu'à 80 % et une erreur alpha de 5 % [14].

Cette étude a été approuvée par le comité d'examen institutionnel de l'hôpital Gangnam Severance, à Séoul, en République de Corée (identifiant : 3-2019-0303), et le consentement éclairé a été obtenu de tous les participants à l'étude. Le protocole de l'étude a été mené conformément aux principes de la Déclaration d'Helsinki.

2.2. Évaluation des données

2.2.1. Évaluation de la posture

Dans cette étude observationnelle prospective, chaque participant a été examiné dans le cadre d'un protocole clinique de routine lors de sa première visite clinique. Lors de la prise de l'imagerie EOS ou de la radiographie orthogonale antéropostérieure et latérale du corps entier, les individus ont été invités à se tenir en position debout modifiée avec leurs épaules fléchies à 45° et leurs poings placés sur leurs clavicules pour une visualisation sagittale des régions cervicale et thoracique de la colonne vertébrale [15 , 16]. Ensuite, des mesures d'angle conventionnelles ont été effectuées manuellement sur une image EOS latérale numérique par un examinateur compétent.

Le même jour, des mesures PAViR (version 2.11, Moti Physio, MG Solutions, Séoul, Corée) ont également été réalisées pour chaque patient à l'aide

d'une caméra 3D RGB-D (Astra Pro, Orbbec 3D Technology International, Inc., Troy, MI, USA) comme capteur. Les individus ont été évalués en position debout, les bras croisés et la tête tournée vers l'avant. Cette position, qui n'est généralement pas recommandée pour PAViR, a été adoptée pour faciliter la comparaison avec les mesures d'imagerie EOS. Les patients étaient entièrement habillés de vêtements relativement serrés avec des ceintures de poitrine et de taille pour rendre la silhouette visible. Des marqueurs ont été placés manuellement au niveau de l'épine ischiatique antéro-supérieure droite et gauche et de l'ombilic, respectivement. Des repères anatomiques ont été pointés sur le modèle squelettique virtuel et les valeurs ont été mesurées par un spécialiste en médecine physique et réadaptation sous double contrôle étroit d'un deuxième spécialiste.

2.2.2. PAViR

Le système matériel de PAViR se compose d'une unité d'affichage, d'entrée, de commande et de positionnement. L'unité d'affichage fournit un retour visuel sur le positionnement correct du protocole et des informations sur le résultat final de l'estimation. L'unité d'entrée, la caméra 3D RGB-D, reçoit la profondeur et les points (extrémité acromiale, épine ischiatique antéro-supérieure, centre de la cuisse, du genou et de la cheville sur la vue de face ; méat auditif externe, aspect latéral du tubercule majeur de l'épaule, centre du bassin et du genou, malléole latérale sur la vue latérale, acromion sur la vue de dos) à mesurer avec 30 000 faisceaux réfléchis comme données d'entrée. L'unité d'opération traite les données d'entrée pour calculer la source d'image pour les données graphiques et l'affiche sur l'unité d'affichage. L'unité de positionnement se compose d'un indicateur laser, d'un éclairage au sol à une distance définie de la caméra 3D RGB-D et d'un tapis de sol pour se tenir debout sur une zone spécifique.

La caméra 3D RGB-D capture des images de face, de côté et de dos. Le système génère un contour de la silhouette humaine à partir des valeurs de profondeur des images en utilisant la méthode d'extraction par soustraction d'arrière-plan [17]. Les parties du corps du sujet sont identifiées à l'aide d'une machine à vecteurs de support, telles que la tête, le cou, le tronc, les bras et les jambes, à l'aide d'un algorithme de

traitement d'image pour la segmentation de super-pixels connu sous le nom de clustering itératif linéaire simple [18 , 19]. Ce processus est calculé pour les trames d'image toutes les 2 à 3 s, et l'angle estimé pour chaque articulation est utilisé comme valeur pour le résultat final basé sur la position articulaire moyenne et appliqué au modèle de squelette virtuel 3D. Les résultats, ou la posture, ont été indirectement présentés à l'écran sous la forme d'un modèle squelettique virtuel traité automatiquement avec des images coronales et sagittales grâce à des sessions de formation répétées pour l'algorithme d'estimation de la pose humaine (Figure 1) [18 , 20].

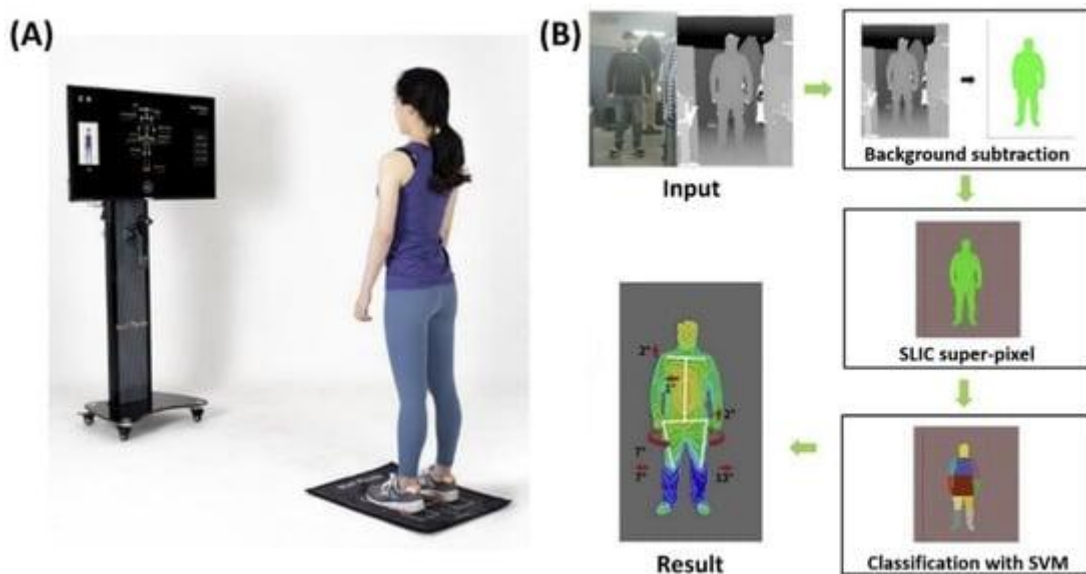


Figure 1. (**A**) Système d'analyse de posture et de reconstruction virtuelle (PAViR). (**B**) Processus de reconstruction des mesures de posture humaine à l'aide de PAViR. SLIC, clustering itératif linéaire simple ; SVM, machine à vecteurs de support.

2.2.3. Mesures des résultats

Les principaux résultats étaient les paramètres sagittaux suivants de la posture du corps humain obtenus par le système d'imagerie EOS et PAViR : (1) posture de la tête vers l'avant (FHP) dans trois méthodes différentes (du centre du méat acoustique au centre du C7, de l'arrière au niveau T4 à la tête frontale, et de l'arrière au niveau T4 au centre du méat acoustique) ; (2) angle d'inclinaison T1 (T1t) formé par l'axe vertical traversant le centre de la tête fémorale ; (3) angle de flexion du genou (KF) par l'axe joignant le centre

de la hanche au centre du genou et l'axe joignant le centre du genou au centre de la cheville ; (4) angle de lordose lombaire (LL) formé entre la ligne s'étendant de la plaque supérieure du L1 et l'autre s'étendant de la plaque inférieure du L5 ; et (5) angle d'inclinaison pelvienne (PT) formé entre l'axe vertical traversant le centre de la tête fémorale et le point médian de la plaque terminale sacrée (**Tableau 1** et **Figure 2**). Ceux-ci ont été analysés pour vérifier la corrélation entre les résultats de l'imagerie EOS et PAViR pour validation.

Tableau 1. Description des paramètres sagittaux d'intérêt.

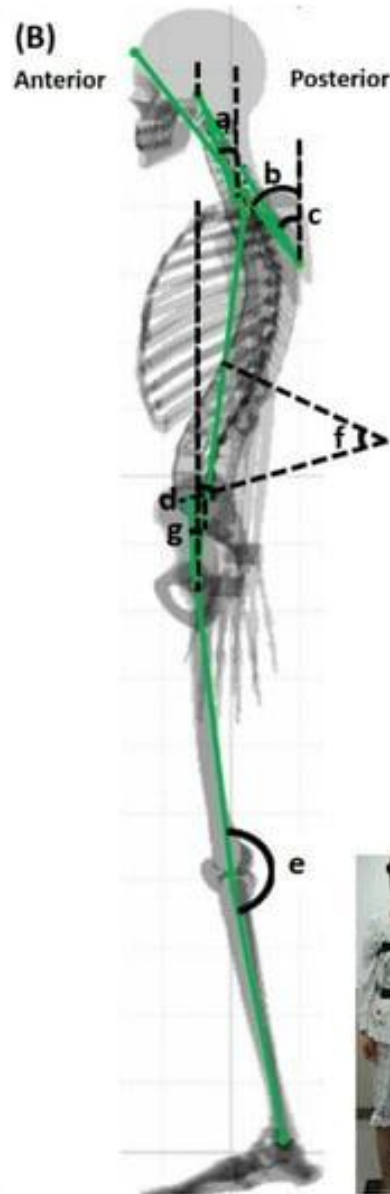
Parameter	Parameter' Full Name	Description
FHP (C7-CAC), °	Forward head posture (C7-center of auditory canal), °	Angle formed between the center of the 7th cervical vertebra (C7) to the center of the auditory canal
FHP (T4-FH), °	Forward head posture (T4-frontal head), °	Angle formed between the back at the 4th thoracic vertebra (T4) to the frontal head
FHP (T4-CAC), °	Forward head posture (T4-center of auditory canal), °	Angle formed between the back at the 4th thoracic vertebra (T4) to the center of the auditory canal
T1t, °	T1 tilt angle, °	Angle formed between the center of the 1st thoracic vertebra (T1) and the vertical axis traversing the center of the femoral head
KF, °	Knee flexion angle, °	Angle formed by the axis joining the center of the hip joint to the center of the knee joint and the axis joining the center of the knee joint to the center of the ankle joint
LL, °	Lumbar lordosis angle, °	Angle formed between the line extending from the upper plate of the 1st lumbar vertebra (L1) and the other extending from the lower plate of the 5th lumbar vertebra (L5)
PT, °	Pelvic tilt angle, °	Angle formed between the vertical axis traversing the center of the femoral head and the midpoint of the sacral endplate

FHP (C7-CAC), forward head posture (C7-center of the auditory canal); FHP (T4-CAC), forward head posture (T4-center of auditory canal); FHP (T4-FH), forward head posture (T4-frontal head); KF: knee flexion angle; LL: lumbar lordosis angle; PAViR: posture analysis and virtual reconstruction device; PT: pelvic tilt angle; T1t: T1 tilt angle; °: degree of angle.

2.3. Analyse des données

Les données descriptives sont présentées sous forme de médiane (écart interquartile [IQR]) ou de nombre (pourcentage, %). Le test de normalité des variables continues a été réalisé à l'aide du test de normalité de Shapiro-Wilk. La précision a été évaluée à l'aide du test de Wilcoxon des différences moyennes absolues et des valeurs de p entre les résultats de l'imagerie EOS et du PAViR. Les associations entre les mesures des deux appareils ont été déterminées à l'aide des coefficients de corrélation de rang de Spearman, qui ont été interprétés comme nul (0,0), mauvais (0,01-0,29), moyen (0,30-0,59), modéré (0,60-0,79), très fort (0,80-0,99) et parfait (1,0) [21]. Le niveau de signification a été fixé à $p < 0,05$ pour tous les tests

statistiques. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R Studio (R version 4.1.2 ; RStudio, PBC, Bonston, MA, États-Unis).



Figure

2. Méthodes
de mesure de
divers
paramètres
sagittaux du
(**A**) système
d'imagerie
EOS et du
(**B**) PAViR. a,
posture de la
tête vers
l'avant (C7-
centre du
conduit
auditif) ; b,
posture de la
tête vers
l'avant (T4-
tête frontale)
; c, posture
de la tête
vers l'avant
(T4-centre du

conduit auditif) ; d, angle d'inclinaison T1 ; e, angle de flexion du genou ; f,
angle de lordose lombaire ; g, angle d'inclinaison du bassin.

3. Résultats

3.1. Participants

Soixante-dix patients ont été inclus dans l'étude. L'étude comprenait 30 hommes et 40 femmes dont l'âge médian était de 55 ans (entre 23 et 82 ans), la taille médiane de 165 (entre 147 et 185 cm), le poids médian de 65 (entre 43 et 100 kg) et l'indice de masse corporelle médian de 23.62 kg/m² (entre 16.38 et 31.25) ([tableau 2](#)).

Tableau 2. Caractéristiques démographiques et anthropométriques des patients (*n* = 70).

Characteristics	Median (IQR)	Range (Min–Max)
Sex, <i>n</i> (%)		
Male		30 (42.86)
Female		40 (57.14)
Age, yr	55 (38–63)	23–82
Height, cm	165 (159–172)	147–185
Weight, kg	65 (56.25–73.00)	43–100
BMI, kg/m ²	23.62 (21.69–25.33)	16.38–31.25

BMI, body mass index; IQR, interquartile range.

3.2. Valeurs descriptives des résultats

Les valeurs descriptives des paramètres sagittaux mesurés à l'aide du système d'imagerie EOS et du PAViR sont présentées dans [le tableau 3](#). Les valeurs négatives représentent un état d'inclinaison postérieure. Les résultats de FHP (C7-conduit auditif, T4-tête frontale et T4-conduit auditif) mesurés par le système d'imagerie EOS ont montré des valeurs médianes et un IQR similaires à ceux estimés par PAViR. Les valeurs médianes de T1t par le système d'imagerie EOS et PAViR étaient respectivement de 4,75° (2.83–6.48) et de 2.95° (2.01–4.60). Les valeurs médianes de KF étaient de 2.50 (1.23–5.28) et 3.90 (2.02–5.38) pour le système d'imagerie EOS et PAViR, 34.00 (29.00–42.00) et 34.55 (31.10–38.65) pour le LL, et 12.55 (6.53–17.93) et 9.35 (6.05–10.48) pour le PT, respectivement.

Tableau 3. Valeurs descriptives des paramètres sagittaux mesurés avec le système d'imagerie EOS et PAViR.

Sagittal Parameters	EOS Imaging System		PAViR	
	Median (IQR)	Range (Min–Max)	Median (IQR)	Range (Min–Max)
FHP (C7-CAC), °	8.80 (5.13–15.50)	–2.10–30.80	10.24 (6.35–14.47)	–6.30–29.00
FHP (T4-FH), °	41.40 (39.43–43.73)	32.00–54.20	40.54 (39.08–41.90)	33.90–47.00
FHP (T4-CAC), °	31.60 (28.25–34.80)	20.40–45.10	32.85 (30.23–35.10)	21.80–54.30
T1t, °	4.75 (2.83–6.48)	–5.70–11.30	2.95 (2.01–4.60)	–0.83–12.50
KF, °	2.50 (1.23–5.28)	0–18.90	3.90 (2.02–5.38)	–4.05–13.80
LL, °	34.00 (29.00–42.00)	7.00–61.00	34.55 (31.10–38.65)	23.00–45.80
PT, °	12.55 (6.53–17.93)	–2.50–35.00	9.35 (6.05–10.48)	0.70–22.40

FHP (C7-CAC), forward head posture (C7-center of the auditory canal); FHP (T4-CAC), forward head posture (T4-center of auditory canal); FHP (T4-FH), forward head posture (T4-frontal head); KF: knee flexion angle; LL: lumbar lordosis angle; PAViR: posture analysis and virtual reconstruction device; PT: pelvic tilt angle; T1t: T1 tilt angle; °: degree of angle.

3.3. Validité de la mesure PAViR

Comme le résume le [tableau 4](#), les différences médianes dans les résultats des mesures effectuées par les deux appareils ont montré des différences significatives dans le FHP (T4-tête frontale et T4-conduit auditif), T1t et PT. Il n'y avait pas de différences significatives dans les autres paramètres.

Tableau 4. Précision et corrélation des mesures des paramètres sagittaux entre le système d'imagerie EOS et PAViR.

Sagittal Parameters	Wilcoxon Signed Rank Test		Spearman's Correlation	
	Median (IQR) of Difference	p-Value	Correlation Coefficient	p-Value
FHP (C7-CAC), °	1.87 (0.83–4.38)	0.418	0.741	<0.001
FHP (T4-FH), °	1.90 (0.86–3.05)	0.034	0.795	<0.001
FHP (T4-CAC), °	1.84 (0.78–3.05)	<0.001	0.761	<0.001
T1t, °	1.50 (0.67–2.67)	0.017	0.621	<0.001
KF, °	1.40 (0.80–3.35)	0.207	0.514	0.004
LL, °	4.05 (1.63–7.28)	0.701	0.536	0.004
PT, °	3.05 (1.23–6.58)	0.046	0.692	<0.001

FHP (C7-CAC), forward head posture (C7-center of the auditory canal); FHP (T4-CAC), forward head posture (T4-center of auditory canal); FHP (T4-FH), forward head posture (T4-frontal head); KF: knee flexion angle; LL: lumbar lordosis angle; PAViR: posture analysis and virtual reconstruction device; PT: pelvic tilt angle; T1t: T1 tilt angle; °: degree of angle.

Dans l'analyse de corrélation, les valeurs de FHP des trois méthodes (C7-conduit auditif, T4-tête frontale et T4-conduit auditif), T1t et PT estimées par PAViR ont montré une corrélation modérée, avec des coefficients de corrélation de Spearman de $r = 0.741$, 0.795 , 0.761 , 0.621 et 0.692 , respectivement ($p < 0.001$). Le KF et le LL estimés à l'aide de PAViR étaient assez corrélés à ceux estimés à l'aide du système d'imagerie EOS avec une signification statistique ($r = 0.514$ et 0.536 , $p = 0.004$).

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la validité d'un dispositif d'analyse de la posture et de reconstruction virtuelle (PAViR) récemment développé pour évaluer les paramètres sagittaux de la colonne vertébrale chez les patients atteints de dysfonctionnement segmentaire et somatique. Les FHP utilisant trois méthodes différentes, T1t, KF, LL et PT de PAViR ont été comparées à celles du système d'imagerie EOS. Nos résultats indiquent que PAViR peut évaluer les paramètres sagittaux de la colonne vertébrale des patients avec une corrélation moyenne à modérée avec le système d'imagerie EOS et a le potentiel d'être un outil de diagnostic nécessitant une précision accrue.

La gravité du désalignement sagittal de la colonne vertébrale est un facteur clé de la douleur musculo-squelettique [[22](#) , [23](#)]. Les méthodes traditionnelles non radiographiques, notamment l'examen physique basé sur l'inspection et la palpation pour évaluer l'asymétrie posturale, se sont révélées très subjectives et présentaient plusieurs limites [[24](#) - [28](#)]. Ainsi, des efforts ont été faits pour développer des outils capables de fournir un retour d'information précis et régulier sur l'alignement postural. Le système d'imagerie EOS est l'une des méthodes les plus objectives et les plus précises pour diagnostiquer la posture parmi les appareils commercialisés jusqu'à présent [[10](#) , [29](#)]. Cependant, malgré sa précision, plusieurs limites d'utilisation régulière existent [[30](#) , [31](#)].

À cet égard, PAViR présente plusieurs avantages par rapport au système d'imagerie EOS : (1) aucun risque de rayonnement supplémentaire même s'il est effectué de manière répétée, (2) un coût relativement faible, (3) aucune installation compliquée, (4) moins de contraintes d'espace et (5) une maintenance facile du système. De plus, bien que le système d'imagerie EOS nécessite une visite d'un patient hospitalisé sur le site d'installation et au moins un médecin ou un technicien en imagerie pour une posture et des mesures précises, PAViR représente une direction pour le développement futur dans la mesure où il peut être mis en œuvre avec un équipement équivalent à une caméra 3D RGB-D (par exemple, un

téléphone portable ou un ordinateur avec une caméra). Ainsi, il peut être utilisé comme outil pour un système de soins numériques à domicile à l'avenir sans limitations d'installation ou systèmes automatisés. En raison de ces avantages, les méthodes utilisant une caméra de profondeur 3D comme outil pour évaluer la posture humaine et le déséquilibre squelettique deviendront une nouvelle technologie qui peut remplacer les outils d'évaluation des déformations de la colonne vertébrale existants.

Bien que la corrélation entre les deux appareils soit plutôt bonne, il existe une différence significative dans certains paramètres, ce qui suggère qu'il y a place à l'amélioration. Tout d'abord, il est important de minimiser les erreurs causées par les vêtements d'examen du patient. Nous avons tenté de réduire l'erreur en portant des ceintures de poitrine et de taille et en attachant trois marqueurs ; cependant, la condition de port de vêtements peut entraîner une distorsion des mesures de surface et des données topographiques. En particulier, lorsque les patients portent des vêtements noirs, les données topographiques sont inexactes et impossibles à distinguer de l'arrière-plan. Pour clarifier la validité, une étude plus approfondie sera nécessaire avec des analyses avec des vêtements différents ou sur des patients déshabillés. Deuxièmement, il était nécessaire de réduire l'impact de la position de test. PAViR estime les repères squelettiques pendant que les patients se déplacent naturellement. Il mesure le côté du patient avec les deux bras abaissés ou rassemblés devant la poitrine ou l'abdomen et l'avant et l'arrière dans une position debout naturelle avec les deux bras abaissés. Cependant, la posture d'examen dans le système d'imagerie EOS ne correspond pas exactement à celle de PAViR. Dans cette étude, seuls les patients qui se sont rassemblés devant la poitrine ont été inclus afin de réduire l'erreur résultante ; cependant, les auteurs ont pensé que cet effet provoquait une différence significative dans les valeurs de test. Enfin, le système d'imagerie EOS affiche les courbures réelles de l'ensemble de la colonne vertébrale, ce qui explique pourquoi les chirurgiens de la colonne vertébrale l'utilisent pour la chirurgie de correction de la colonne vertébrale, alors que PAViR ne le fait pas. Cela limite désormais le champ d'utilisation de PAViR pour les physiothérapeutes et les médecins généralistes.

Cependant, à l'avenir, PAViR pourrait accroître la précision d'ensembles de données massifs basés sur la technologie d'apprentissage automatique, même lorsque les patients portent des vêtements ou adoptent des postures différentes. Comme il est possible d'analyser la position du cou, des épaules, du bassin et du genou en effectuant une estimation de la posture humaine à partir de la forme de l'ensemble du corps, le potentiel d'augmentation de la valeur de PAViR en tant qu'outil de diagnostic futur est illimité.

PAViR peut acquérir des données qui montrent objectivement la posture humaine en analysant l'image vue de l'extérieur sans rayonnement à l'aide d'une caméra 3D RGB-D. Dans cette étude, les valeurs mesurées à l'aide de PAViR ont été comparées aux paramètres sagittaux obtenus en effectuant le système d'imagerie EOS chez des patients présentant un dysfonctionnement segmentaire et somatique. Parmi les résultats de PAViR, les valeurs indiquant FHP, T1t, KF, LL et PT ont montré une corrélation statistiquement significative, modérée et équitable, indiquant une validité par rapport à celle de l'imagerie EOS. Actuellement, la dernière mise à jour de PAViR est la version 2.13. Les recherches futures devraient aller dans le sens de suggérer et de vérifier la mise à jour, et il sera nécessaire de vérifier si la corrélation que nous avons trouvée augmente en conséquence.

5. Conclusions

Cette étude présente le potentiel d'un nouveau système d'imagerie squelettique sans risque d'exposition aux radiations, basé sur une caméra 3D RGB-D, en tant qu'outil de diagnostic de nouvelle génération en estimant des paramètres plus précis grâce à des mises à niveau continues basées sur plusieurs données avec une technologie d'intelligence artificielle. PAViR fournit une validation acceptable par rapport au système d'imagerie EOS dans la posture humaine sagittale et peut être utile comme alternative à l'imagerie EOS pour évaluer le déséquilibre sagittal.

Contributions des auteurs

Conceptualisation et conservation des données, CWJ, JP, HEC et JHP ; Analyse formelle, CWJ et JP ; Investigation, HEC et JHP ; Supervision, JHP ; Rédaction – ébauche originale, CWJ et JP ; Rédaction – révision et édition, JHP L'auteur correspondant (JHP) a confirmé avoir pleinement accès aux données de l'étude et a assumé la responsabilité finale de la décision de soumettre l'article pour publication. Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement

Ce travail a été soutenu par l'Institut de réadaptation des maladies neuromusculaires de la faculté de médecine de l'université de Yonsei. Les auteurs n'ont reçu aucun financement spécifique pour cette étude. Aucun avantage de quelque nature que ce soit n'a été tiré d'un tiers commercial lié directement ou indirectement au sujet de cet article.

Déclaration du comité d'examen institutionnel

Cette étude a été approuvée par le comité d'examen institutionnel de l'hôpital Gangnam Severance, Séoul, République de Corée (identifiant : 3-2019-0303).

Déclaration de consentement éclairé

Le consentement éclairé a été obtenu de tous les sujets impliqués dans l'étude.

Déclaration de disponibilité des données

Les données agrégées analysées dans cette étude sont disponibles auprès de l'auteur correspondant sur demande raisonnable.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

References

1. Pope, P.M. Severe and Complex Neurological Disability: Management of the Physical Condition; Butterworth-Heinemann Elsevier: Oxford, UK, 2007. 2. Takasaki, H.; May, S. Mechanical diagnosis and therapy has similar effects on pain and disability as 'wait and see' and other approaches in people with neck pain: A systematic review. *J. Physiother.* 2014, 60, 78–84. [CrossRef] [PubMed]
3. Jackson, R.P.; Peterson, M.D.; McManus, A.C.; Hales, C. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 1998, 23, 1750–1767. [CrossRef] [PubMed]
4. Vedantam, R.; Lenke, L.G.; Keeney, J.A.; Bridwell, K.H. Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults. *Spine (Phila Pa 1976)* 1998, 23, 211–215. [CrossRef] [PubMed]
5. Fedorak, C.; Ashworth, N.; Marshall, J.; Paull, H. Reliability of the visual assessment of cervical and lumbar lordosis: How good are we? *Spine (Phila Pa 1976)* 2003, 28, 1857–1859. [CrossRef]
6. Fortin, C.; Feldman, D.E.; Cheriet, F.; Labelle, H. Clinical methods for quantifying body segment posture: A literature review. *Disabil. Rehabil.* 2011, 33, 367–383. [CrossRef]
7. Bryan, J.M.; Mosner, E.; Shippee, R.; Stull, M.A. Investigation of the validity of postural evaluation skills in assessing lumbar lordosis using photographs of clothed subjects. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 1990, 12, 24–29. [CrossRef]
8. Kendall, F.P.; McCreary, E.K.; Provance, P.G.; Rodgers, M.M.; Romani, W.A. *Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*; Lippincott Williams & Wilkins Baltimore: Baltimore, MD, USA, 2005; Volume 5.
9. Dubousset, J.; Charpak, G.; Dorion, I.; Skalli, W.; Lavaste, F.; Deguise, J.; Kalifa, G.; Ferey, S. A new 2D and 3D imaging approach to musculoskeletal physiology and pathology with low-dose radiation and the standing position: The EOS system. *Bull. Acad. Natl. Med.* 2005, 189, 287–297; discussion 297–300. [PubMed]
10. Somoskeöy, S.; Tunyogi-Csapó, M.; Bogyó, C.; Illés, T. Accuracy and reliability of coronal and sagittal spinal curvature data based on patient-specific three-dimensional models created by the EOS 2D/3D imaging system. *Spine J.* 2012, 22, 1052–1059. [CrossRef]
11. Deschênes, S.; Charron, G.; Beaudoin, G.; Labelle, H.; Dubois, J.; Miron, M.C.; Parent, S. Diagnostic imaging of spinal deformities: Reducing patients radiation dose with a new slot-scanning X-ray imager. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010, 35, 989–994. [CrossRef] [PubMed]
12. Luo, T.D.; Stans, A.A.; Schueler, B.A.; Larson, A.N. Cumulative Radiation Exposure With EOS Imaging Compared With Standard Spine Radiographs. *Spine Deform.* 2015, 3, 144–150. [CrossRef]

13. Cohen, L.; Kobayashi, S.; Simic, M.; Dennis, S.; Refshauge, K.; Pappas, E. Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: A systematic review. *Scoliosis Spinal Disord.* 2017, 12, 30. [CrossRef]
14. Knott, P.; Mardjetko, S.; Rollet, M.; Baute, S.; Riemenschneider, M.; Muncie, L. Evaluation of the reproducibility of the formetric 4D measurements for scoliosis. *Scoliosis* 2010, 5 (Suppl. S1), O10. [CrossRef]
15. Faro, F.D.; Marks, M.C.; Pawelek, J.; Newton, P.O. Evaluation of a functional position for lateral radiograph acquisition in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004, 29, 2284–2289. [CrossRef]
16. Steffen, J.S.; Obeid, I.; Aurouer, N.; Hauger, O.; Vital, J.M.; Dubousset, J.; Skalli, W. 3D postural balance with regard to gravity line: An evaluation in the transversal plane on 93 patients and 23 asymptomatic volunteers. *Eur. Spine J.* 2010, 19, 760–767. [CrossRef]
17. Camplani, M.; Salgado, L. Background foreground segmentation with RGB-D Kinect data: An efficient combination of classifiers. *J. Vis. Commun. Image Represent.* 2014, 25, 122–136. [CrossRef]
18. Kim, H.; Lee, S.; Lee, D.; Choi, S.; Ju, J.; Myung, H. Real-time human pose estimation and gesture recognition from depth images using superpixels and SVM classifier. *Sensors* 2015, 15, 12410–12427. [CrossRef]
19. Achanta, R.; Shaji, A.; Smith, K.; Lucchi, A.; Fua, P.; Süsstrunk, S. SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2012, 34, 2274–2282. [CrossRef]
20. Straka, M.; Hauswiesner, S.; Rütther, M.; Bischof, H. (Eds.) *Skeletal Graph Based Human Pose Estimation in Real-Time*. In Proceedings of the BMVC, Dundee, UK, 29 August 29–2 September 2011; pp. 1–12.
21. Akoglu, H. User's guide to correlation coefficients. *Turk. J. Emerg. Med.* 2018, 18, 91–93. [CrossRef]
22. Tatsumi, M.; Mkoba, E.M.; Suzuki, Y.; Kajiwar, Y.; Zeidan, H.; Harada, K.; Bitoh, T.; Nishida, Y.; Nakai, K.; Shimoura, K.; et al. Risk factors of low back pain and the relationship with sagittal vertebral alignment in Tanzania. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2019, 20, 584. [CrossRef]
23. Hira, K.; Nagata, K.; Hashizume, H.; Asai, Y.; Oka, H.; Tsutsui, S.; Takami, M.; Iwasaki, H.; Muraki, S.; Akune, T.; et al. Relationship of sagittal spinal alignment with low back pain and physical performance in the general population. *Sci. Rep.* 2021, 11, 20604. [CrossRef]
24. Zsidai, A.; Kocsis, L. Ultrasound-based spinal column examination systems. *Facta Univ. -Ser. Phys. Educ. Sport* 2001, 1, 1–12.
25. Yeras, A.M.; Peña, R.G.; Junco, R. Moiré topography: Alternative technique in health care. *Opt. Lasers Eng.* 2003, 40, 105–116. [CrossRef]
26. Goldberg, C.J.; Kaliszer, M.; Moore, D.P.; Fogarty, E.E.; Dowling, F.E. Surface topography, Cobb angles, and cosmetic change in scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001, 26, E55–E63. [CrossRef]

27. Whittaker, D. Multidisciplinary approaches to breathing pattern disorders. *Australas. Chiropr. Osteopathy* 2002, 10, 111.

28. Sahlstrand, T. The clinical value of Moiré topography in the management of scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1986, 11, 409–417. [CrossRef] [PubMed]

29. Rousseau, M.A.; Brusson, A.; Lazennec, J.Y. Assessment of the axial rotation of the pelvis with the EOS® imaging system: Intraand inter-observer reproducibility and accuracy study. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2014, 24, 891–895. [CrossRef] [PubMed]

30. Metaxas, V.I.; Messaris, G.A.; Lekatou, A.N.; Petsas, T.G.; Panayiotakis, G.S. PATIENT DOSES IN COMMON DIAGNOSTIC X-RAY EXAMINATIONS. *Radiat. Prot. Dosim.* 2019, 184, 12–27.

[CrossRef] 31. Hui, S.C.; Pialasse, J.P.; Wong, J.Y.; Lam, T.P.; Ng, B.K.; Cheng, J.C.; Chu, W.C. Radiation dose of digital radiography (DR) versus micro-dose x-ray (EOS) on patients with adolescent idiopathic scoliosis: 2016 SOSORT- IRSSD “John Sevastic Award” Winner in Imaging Research. *Scoliosis Spinal Disord.* 2016, 11, 46. [CrossRef]

file:///C:/Users/ktspo/Downloads/ijerph-19-11109-v2.pdf