کاربرد تکنولوژی پردازش تصویر به کمک کامپیوتر در آنالیز وضعیت بدن

علیرضا چوبینه[۱]، محمدعلی لعمی[۲]، صمد دانشور[۳]، سعید شریفیان[۴]، آرش هاشمی حسینی[۵]

۱- عضو هیأت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز

۲- عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز

۴- پژوهشکدهٔ مهندسی جهاد، وابسته به وزارت جهاد کشاورزی

چکیده

امروزه motion analysis با کمک کامپیوتر در عرصه‌های گوناگون علمی کاربردهای فراوان یافته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه‌ی وضعیت بدن و محاسبه‌ی زوایای اندامها اشاره کرد. در مقاله‌ی حاضر، سیستمی ارایه می‌شود که WEPAS نامگذاری شده و بر پایه‌ی تکنولوژی پردازش تصویر طراحی و تکامل یافته و قادر است به طور دو بعدی ۶ زوایه از زوایای بدن را در عملیات قالیبافی که یک فعالیت استاتیک و نشسته است اندازه‌گیری نماید. آزمونهای تکرارپذیری و صحت اندازه‌گیری مشخص ساختند که WEPAS سیستمی بسیار تکرارپذیر و نسبتاً دقیق است. قیمت پایین WEPAS، همراه با دقت و صحت مطلوب و همچنین سادگی بر پایی و کالیبراسیون آن باعث شده که WEPAS سیستمی کاربردی در آنالیز پوسچر در عملیات قالیبافی باشد. اگرچه WEPAS برای عملیات قالیبافی طراحی و ارایه شده است، اما می‌توان با ایجاد تغییرات نرم‌افزاری، از آن برای آنالیز پوسچر در سایر کارهای استاتیک نظیر خیاطی، اپراتوری کامپیوتر، مونتاژکاری و... استفاده نمود.

کلمات کلیدی *: اندازه‌گیری پوسچر، تکنولوژی پردازش تصویر، تکنیک دوبعدی ویدئویی، آنالیز پوسچر در قالیبافی.*

مقدمه

امروزه تجزیه و تحلیل حرکت (motion analysis) به کمک کامپیوتر در عرصه‌های گوناگون علمی کاربردهای فراوان یافته است که از آن جمله می‌توان به:

- **کاربردهای صنعتی:** تجزیه و تحلیل حرکات روباتها، اندازه‌گیری سرعت و شتاب حرکت، زوایا و موقعیت اجزاء
- **کاربرد در علوم ورزشی:** آموزش فنون ورزشی نظیر حرکات ژیمناستیک
- **کاربرد در علوم توانبخشی:** بررسی تأثیر روشهای درمانی در اختلالات اسکلتی-عضلانی، gait analysis
- **کاربرد در علوم بیومکانیک:** آموزش مفاهیم بیومکانیکی، مطالعهٔ محدودهٔ حرکتی مفاصل، مطالعهٔ ستون فقرات و سایر مفاصل بدن
- **کاربرد در علم ارگونومی:** مطالعهٔ وضعیت بدن هنگام کار(working posture) و محاسبهٔ زوایای اندامها، طراحی ایستگاه کار

اشـــاره کـــرد. آنچـــه کـــه در ایـــن مقالـــه مـــورد توجـــه اســـت کاربردهـــای ارگونومیـــک مبحـــث motion analysis می‌باشد. در ارگونومی که علم متناسب‌سازی کار و محیط کار با انسان است وضعیت بدن هنگام کار و زوایای اندامهای گوناگون بدن نسبت به یکدیگر و شاخصهای عمودی و افقی اهمیـت زیـادی دارد. بسیاری از ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی در اثر پوسچر نامطلوب نظیر خمش زیاد گردن و کمر ایجاد می‌شـوند (Duncan and Fergusem, 1974; Hunting et al, 1981; Aaras et al, 1988 ;Sauter and schleifer, 1991; DE Well etal ,1991). امروزه ناراحتیهای اسکلتی- عضلانی در دنیا به علت آسـیبی که به نیروی کار و بهره‌وری وارد می‌سازند اهمیت فوق‌العاده‌ای یافته‌اند و به همین دلیل مطالعات وسیعی برای پیشگیری از بروز این آسیبها و کنترل ریـسک فاکتورهـای ایجادکننـدهٔ آنهـا انجـام مـی‌شـود (Kemmlert, 1994). از آنجا که پوسـچر نـامطلوب بـدن هنگـام کـار یکـی از ریـسک فاکتورهـای اصـلی ایـن اخـتلالات و ناراحتیهاست، مطالعهٔ آن اهمیت زیادی داشته و رواج فراوانی یافته است (Haslegrave, 1994).

در مطالعهٔ وضعیت بدن هنگام کار از تکنیکهای گوناگونی استفاده می‌شـود کـه بـه طـور کلـی می‌توان آنها را به سه دسته تقسیم کرد:

- **تکنیکهای مشاهده‌ای** (شامل ۱) روشهای قلـم-کاغـذی و ۲) فـیلم‌بـرداری و آنـالیز تـصویر بـه کمـک کامپیوتر)
- **تکنیکهای مستقیم** (نظیر گونیومتری)
- **تکنیکهای خود-گزارشی** (نظیر استفاده از پرسشنامه)

آنچه که در مطالعهٔ پوسچر بدن هنگام کار اهمیت دارد این است که تکنیک مورد استفاده الف) دقیـق بـوده و ب) کمترین تداخل را با فرد یا محیط کار او داشته باشد (Wrigley et al, 1991). در میان تکنیکهای یادشـده، تکنیکهای مشاهده‌ای تداخلی را در کار فرد و تا حد زیادی در محیط کار او ایجاد نمی‌کنند و در حالی که فـرد بـه کار خود مشغول است مطالعهٔ پوسچر انجام می‌شود. اما برخی از تکنیکهـای مـشاهده‌ای از دقـت کـافی برخـوردار نمی‌باشند و داده‌های کمی در مورد وضعیت بدن هنگام کـار و زوایـای میـان انـدامهای گونـاگون بـدن در اختیـار نمی‌گذارنـد کـه از آن جملـه مـی‌تـوان بـه posture targeting ، OWAS و RULA اشـاره کـرد. در میـان تکنیکهای مشاهده‌ای، تکنیک فیلم‌برداری و آنالیز تصویر به کمک کـامپیوتر دارای مزیتهـای بـسیاری اسـت، زیـرا اطلاعات لازم در خصوص حرکت انسان بدون اینکه تماسی با او ایجاد شود به طور خودکـار، سـریع و دقیـق بـدون مداخلهٔ انسانی جمع‌آوری می‌شود (Karwowski, 2001). با این حال این تکنیک نیز دارای محدودیتهایی است.

برخی از انواع سیستمهایی که جزو این گروه طبقه‌بندی می‌شوند و به طور تجاری نیز وجود دارند عبارتند از:
Corlett, 1995) SELSPOT , CODA ،VICON ، SIMI Motion، APAS، Kinemetrix
(Li and Buckle, 1999;. سیستمهای یادشده که در آنـالیز 2D یـا 3D حرکـات انـسان مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرند و در نوع خود سیستمهای پیچیده‌ای هستند محدودیتهایی دارندکه عمده‌ترین آنها قیمت بالا و پیچیدگی برپاسازی و مراحل کالیبراسیون می‌باشد. بنابراین، تخصص و بودجهٔ لازم جهت در اختیار داشتن و اسـتفاده از ایـن قبیل سیستمها همیشه در دسترس نیست. افزون بر آن، در بسیاری مواقع اسـتفاده از سیـستمهای پیـشرفته بـرای پاسخ دادن به یک پرسش پژوهشی ضروری نیست (Paul and Douwes, 1993).

در مقالهٔ حاضر، سیستمی ارائه می‌شود که جهت آنالیز پوسچر در عملیات قالیبافی که در گـروه کارهـای استاتیک طبقه‌بندی می‌شود، طراحی شده است. اهداف اجرای این پروژه عبارتند از :

- ایجاد تکنولوژی motion analysis در داخل کشور

- خلق سیستم آنالیز پوسچر با قیمت نازل و با امکانات موجود
- مطالعهٔ پوسچرکار در قالیبافی به عنوان یک کار استاتیک و استفاده از آن در طراحی ایستگاه کار

مواد و روشها

تشریح سیستم: اساس کار این سیستم که به نام WEPAS نامگذاری شده است و مخفف Weaving Posture Analyzing System می‌باشد، برپایه‌ی تکنولوژی پردازش تصویر به کمک کامپیوتر استوار است. WEPAS که یک سیستم آنالیز پوسچر دوبعدی (2D) است از اجزاء زیر تشکیل شده است (شکل ۱):

۱- دوربین فیلم‌برداری. در عملیات قالیبافی سرعت حرکت اندمها پائین است و از این رو استفاده از دوربین استاندارد با نرخ فریم 25Hz امکانپذیر می‌باشد.

۲- دستگاه ویدئو.

۳-سیستم پردازش تصویرکامپیوتری برای آنالیزفیلمهای ویدئویی. این سیستم تشکیل شده است از:

- کامپیوتر (با پردازنده‌ی پنتیوم 4 و سیستم عامل Windows 98).
- کارت ویدئویی ASUS V710 . این کارت قادر است تصاویر ویدئویی را به فریمهای دیجیتال تبدیل کند.
- نرم افزار WEPAS برای آنالیز فریمهای دیجیتال شده و اندازه‌گیری زوایای مورد نظر . این نرم‌افزار با زبان Object Pascal نوشته شده است.

مراحل فیلمبرداری و ضبط: دوربین فیلمبرداری در نقطه‌ای ثابت و مشخص در فاصله‌ی ۵ متری از ایستگاه کار قالیبافی آزمایشگاهی که در آن فردی به قالیبافی می‌پردازد قرار داده می‌شود. به منظور اندازه‌گیری زوایای بدن هنگام کار، در طرف راست بدن قالیباف که به سمت دوربین قرار گرفته است بر روی نقاط خاصی از بدن (Land marks) نشانه‌های نیمه‌کروی سفید رنگ به قطر ۱/۵ سانتی‌متر چسبانده می‌شود (شکل ۲). این نقاط عبارتند از:
Outer Canthus, Tragus, C7, Greater trochanter, Greater tubercle,
Lateral humeral epicondyle, Styloid process of ulna, Lateral femoral picondyle

از آنجا که حرکت ساعد در محدوده‌ی وسیعی اتفاق می‌افتد, به منظور تسهیل آشکارسازی و ردیابی حرکت ساعد از یک نشانه‌ی خطی استوانه‌ای که از زایده‌ی جانبی استخوان بازو آغاز و به زائده‌ی استخوان اولنا ختم می‌شود, استفاده گردید (شکل ۲). لازم به توضیح است که در این روش قالیباف می‌بایست لباس تیره و چسبان به تن داشته باشد تا از طرفی نشانه‌های سفید رنگ با زمینه کنتراست کافی داشته و از طرف دیگر بر روی سطح بدن جابجا نشوند.

بدین ترتیب سیستم WEPAS قادر به اندازه‌گیری ۶ زاویه شامل, خمش سر (HI), خمش گردن (NI), خمش تنه (TI), زاویه تنه (TA) زاویه بازو (AA) و زاویه آرنج (EA) که هر یک تعاریف خاصی داشته و در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند, می‌باشد.

نرم‌افزار WEPAS: هدف سیستم پردازش تصویر آشکارسازی نشانه‌های سفید رنگ در تصاویر ویدیویی است. آنگاه با استفاده از نقطه مختصات نشانه‌ها, زوایای میان اندامهای مختلف بدن قالیباف اندازه‌گیری می‌شود. نرم افزار WEPAS از دو قسمت تشکیل شده است: الف) برنامه‌ی آنالیز و ب) برنامه‌ی گزارش دهی.

پس از فیلمبرداری و ضبط, خروجی ویدئو به کارت ویدئویی کامپیوتر متصل می‌شود. کارت ویدئویی قادر است تصاویر آنالوگ ویدئو را به دیجیتال تبدیل کند و در فایلی با فرمت avi ذخیره سازد. پس از اجرای نرم‌افزار

WEPAS فایل avi مذکور به برنامه معرفی شده و عمل آنالیز و اندازه‌گیری زوایا انجام می‌پذیرد. در اولین فریم برخی تنظیمات به صورت دستی می‌بایست توسط اپراتور انجام شود که شامل موارد زیر می‌باشد:

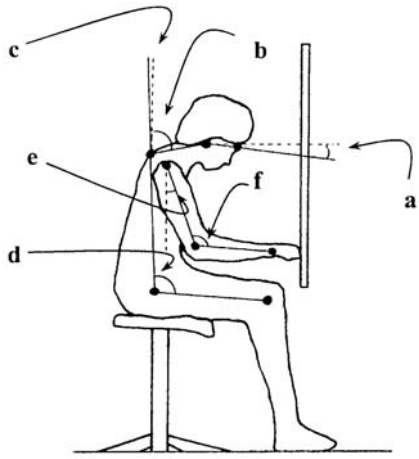
- Scaling: در این مورد, شاخصهای افقی و عمودی برای سیستم تعریف می‌شود و همچنین کالیبراسیون طول انجام می‌پذیرد. نرم‌افزار از Scaling برای محاسبه زوایای بدن استفاده می‌کند.
- مشخص کردن محل نشانه‌ها در تصویر(marker assignment): در اینجا, محل نشانه‌ها تعریف و نقطه مختصات آنها مشخص می‌شوند.
- تنظیم کنتراست: کنتراست میان نشانه‌های سفید رنگ در تصویر و زمینه با لغزاننده‌ی مربوطه در بهترین وضعیت تنظیم می‌شود. این عمل برای بهبود آشکارسازی نشانه‌ها ضروری است.

شکل۱: اجزاء سیستم WEPAS شامل دوربین فیلم‌برداری، ویدئو، کامپیوتر مجهز به کارت ویدئویی (Capture Card) و نرم‌افزار WEPAS.

شکل ۲: فردی در ایستگاه کار آزمایشی مشغول قالیبافی است. نشانه‌های سفید رنگ بر روی نقاط آناتومیک از پیش تعریف شده نصب شده‌اند. خطوط شاخص افقی و عمودی در تصویر قابل مشاهده هستند.

نرم‌افزار WEPAS قادر به اندازه‌گیری مقادیر مطلق ۶ زاویه‌ی مذکور و همچنین مقادیر نسبی آنها می‌باشد. در مورد مقادیر نسبی لازم به توضیح است که وقتی فرد در پوسچر مرجع که خنثی تلقی می‌شود قرار دارد, زوایای بدن اندازه‌گیری می‌شوند و به عنوان زوایای مرجع ذخیره می‌گردند. آنگاه هنگام آنالیز فریمها, وقتی در هر فریم

زوایای ۶ گانه اندازه‌گیری شدند از مقدار زوایای مرجع کم شده و ذخیره می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان میزان انحراف زوایای اندامها از حالت خنثی را تعیین نمود. شکل ۴ صفحه‌ی اصلی نرم افزار WEPAS را نمایش می‌دهد.



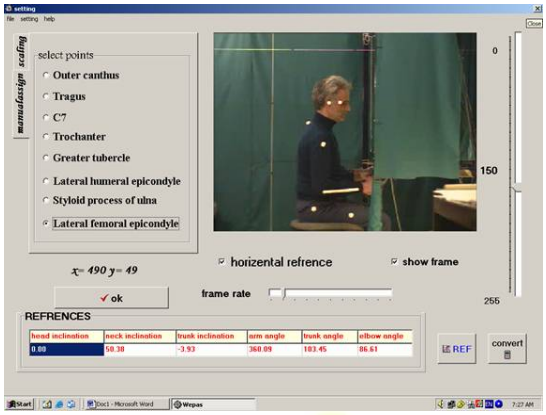
شکل ۳: زوایای بدن که به وسیله WEPAS اندازه‌گیری می‌شوند. خطوط نقطه‌چین, شاخص‌های عمودی و افقی را نشان می‌دهند. (a = HI, b = NI, c= TI, d=TA, e = AA, f =EA)

در آنالیز فریمها, نقطه مختصات هر یک از نشانه‌ها به وسیله‌ی نرم‌افزار تعیین شده و آنگاه پنجره‌ای در اطراف آنها محاسبه می‌شود. این پنجره‌ها به طور دینامیک با جابجا شدن نشانه‌ها که به علت حرکت اندامها روی می‌دهند تغییر مکان می‌دهند و بدین ترتیب نرم‌افرار افزون بر آشکارسازی نشانه‌ها عمل ردیابی (tracking) را نیز انجام می‌دهد. در هر پنجره نرم‌افزار به دنبال pixel های سفید رنگ می‌گردد و پس از آشکارسازی, pixel مرکزی را جهت انجام محاسبات مثلثاتی برای تعیین زاویه مشخص می‌سازد. بدین ترتیب WEPAS قادر است در فریمهای مختلف زوایای مورد نظر را اندازه‌گیری و نتایج را در فایلی ذخیره سازد.

پس از پایان آنالیز فریمها, نمودار گرافیکی تغییرات زوایای بدن در واحد زمان و همچنین میانگین, انحراف استاندارد, حداقل و حداکثر زوایای اندازه‌گیری شده و تعداد فریمهای آنالیز شده قابل مشاهده و استفاده هستند. این بخش از اعمال به وسیله‌ی نرم افزار WEPAS Report انجام می‌گیرد. البته شایان ذکر است که داده‌های خام نیز قابل انتقال به نرم‌افزارهای آماری نظیر SPSS جهت انجام آنالیزهای فزونتر می‌باشد.

به منظور validation سیستم WEPAS آزمونهای مفصلی انجام شده که در اینجا فقط به برخی از آنها اشاره می‌شود.

برای تعیین تکرارپذیری نتایج اندازه‌گیری زوایا به وسیله WEPAS از یک گونیامتر استفاده شد. برچسبهای سفیدرنگ به قطر یک سانتی‌متر به رأس و انتهای بازوهای یک گونیامتر متصل شد. آنگاه در چهار زاویه‌ی مختلف شامل ۱۰°, ۴۵°, ۹۵° و ۱۴۵° از گونیامتر تحت شرایط کاملاً مشخص و تعریف شده از نظر ارتفاع دوربین, فاصله‌ی دوربین تا سوژه, نورپردازی و ... (که کاملاً با شرایط فیلمبرداری از قالیباف همسان است) فیلمبرداری گردید. آنگاه فیلمها Capture شده و درسه نوبت آزمایش (trial) کاملاً مشابه زوایا اندازه‌گیری شدند. آنالیز واریانس یک طرفه تفاوت معنی‌داری را میان نتایج حاصل از سه trial نشان نداد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در این سطح از تکرار (replication)، اندازه‌گیریها قابل تکرار هستند.



شکل ۴: صفحه اصلی نرم‌افزار WEPAS. Scaling , تعیین محل نشانه‌ها, تنظیم کنتراست و تنظیم نرخ فریم‌ها در تصویر مشاهده می‌شوند.

برای ارزیابی صحت اندازه‌گیری زوایا به وسیله WEPAS از گونیامتر استفاده شد. از آنجا که صحت اندازه‌گیری تابعی از دامنه‌ی اندازه‌گیری است، در گستره ای از زوایا از ۱۰° تا ۱۴۵° با فاصله ۱۰° آزمایشات تعیین صحت اندازه‌گیری انجام شد. در هر زاویه‌ی مرجع از گونیامتر برای مدت ۱۰ ثانیه فیلم‌برداری شد. سپس فیلمها Capture شده و آنگاه زاویه گونیامتر با استفاده از نرم‌افزار WEPAS اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادکه در گستره‌ی ۱۰° تا ۱۴۵°, خطای اندازه‌گیری به وسیله سیستم WEPAS همواره کمتر از ۱° می‌باشد. این میزان خطا در اندازه‌گیری پوسچر کاملاً قابل قبول به نظر می‌رسد.

بحث و نتیجه‌گیری

استاندارد کوچک (۱° >) در اندازه‌گیری زوایا و همچنین عدم اختلاف میانگینها در trial های مختلف مشخص می‌سازد که WEPAS یک سیستم تکرار پذیر (reliable) برای اندازه‌گیری زوایا می‌باشد. همچنین آزمونهای تعیین صحت اندازه‌گیری زوایا توسط WEPAS مشخص ساخت که تحت شرایط مشخص و تعریف شده (از نظر محل دوربین, ارتفاع آن از سطح زمین و فاصله آن از سوژه) مقدار خطا کوچک است (۱° > ±). در مطالعه‌ای که به وسیله‌ی Vander Linden et al. (1993) بر روی یک سیستم ویدئوئی آنالیز 3D انجام شد, در گستره‌ی ۲۰° تا ۱۶۰° میزان خطا ۰/۶ ± گزارش گردید. صرف نظر از شرایط اندازه‌گیری, مقدار خطا در مطالعه‌ی حاضر و مطالعه‌ی Vander Linden نزدیک به یکدیگر است.

اندازه‌گیری پوسچر بدن هنگام قالیبافی به وسیله‌ی WEPAS بر روی ۳۰ نمونه مشخص ساخت که این سیستم, سیستمی کاربردی, نسبتاً accurate و بسیار تکرارپذیر است. هزینه‌ی تولید و ساخت WEPAS برابر با ۲۰ میلیون ریال می‌باشد که نسبت به سیستمهای پیچیده آنالیز بیومکانیکی بسیار ناچیز است. کالیبراسیون و بر پاسازی WEPAS بسیار ساده و سریع می‌باشد. البته برای استفاده از این سیستم میبایست تمهیداتی در ایستگاه کار فراهم نمود که از آن جمله می‌توان به سطوح تیره و خطوط مرجع افقی و عمودی اشاره کرد. WEPAS یک سیستم خیاط دوز برای آنالیز پوسچر در عملیات قالیبافی است. البته با تعدیل و تغییراتی در نرم‌افزار WEPAS می‌توان از آن در سایر کارهای استاتیک و نشسته نظیر خیاطی, مونتاژکاری و اپراتوری کامپیوتر استفاده کرد.

منابع

1. Aarås, A., Westgaard, R.H. and Stranden, E. (1988). Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations. *Ergonomics, 31(6),* 915-933.